# การประเมินความเสี่ยงและผลกระทบต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง จากความล่าช้าในการก่อสร้างของโครงการร่วมทุนระหว่างรัฐและเอกชน ด้วยวิธี Kalman Filter Forecasting Method

นายสุพัตรเดช เกษมสุข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Risk Assessment and Stakeholders' Impact Assessment of Construction Delay in Infrastructure Project by Using Kalman Filter Forecasting Method

Mr. Supattaradech Kasemsukh

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2020
Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การประเมินความเสี่ยงและผลกระทบต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง จากความล่าช้าในการก่อสร้างของโครงการร่วมทุนระหว่างรัฐและเอกชน ด้วยวิธี Kalman Filter Forecasting Method |
| โดย | นายสุพัตรเดช เกษมสุข |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมโยธา |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ ดร.นคร กกแก้ว |

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

........................................................................ คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

........................................................................ ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง)

........................................................................ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.นคร กกแก้ว)

........................................................................ กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วัชระ เพียรสุภาพ)

........................................................................ กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ลิขิตเรืองศิลป์)

........................................................................ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.กองกูณฑ์ โตชัยวัฒน์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สุพัตรเดช เกษมสุข : การประเมินความเสี่ยงและผลกระทบต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง จากความล่าช้าในการก่อสร้างของโครงการร่วมทุนระหว่างรัฐและเอกชน ด้วยวิธี Kalman Filter Forecasting Method. ( Risk Assessment and Stakeholders' Impact Assessment of Construction Delay in Infrastructure Project by Using Kalman Filter Forecasting Method) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.นคร กกแก้ว

ปัจจุบันโครงการโครงสร้างพื้นฐานที่ใช้รูปแบบสัญญาร่วมลงทุนระหว่างภาครัฐและเอกชนหรือที่เรียกว่า Public-Private Partnership (PPP) มักประสบปัญหาการก่อสร้างที่ล่าช้าไปจากระยะเวลาสัญญา ทั้งนี้ความล่าช้าในการก่อสร้างอาจส่งผลกระทบต่อผู้ที่มีส่วนได้เสียของโครงการ ดังนั้นการที่มีเครื่องมือในการติดตามและแจ้งเตือนล่วงหน้าสำหรับความเสี่ยงที่เกิดจากความล่าช้าในการก่อสร้าง นับเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยให้โครงการโครงสร้างพื้นฐานประสบความสำเร็จมากขึ้น จึงเป็นที่มาของการทำวิทยานิพนธ์ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความเสี่ยงที่เกิดจากความล่าช้าในการก่อสร้าง สำหรับโครงการที่ใช้สัญญารูปแบบ PPP และเพื่อประเมินผลกระทบจากความล่าช้าในการก่อสร้างในรูปของตัวเงินต่อผู้มีส่วนได้เสียอันประกอบด้วย เอกชนผู้รับสัมปทาน ภาครัฐเจ้าของโครงการ และภาคประชาชน

โดย Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการพยากรณ์ระยะเวลาก่อสร้างที่คาดว่าจะใช้นับจากปัจจุบันจนโครงการแล้วเสร็จ และระยะเวลาก่อสร้างที่พยากรณ์ได้จะถูกนำไปใช้ในการประเมินมูลค่าผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ต่อผู้มีส่วนได้เสียที่เกิดจากความล่าช้าในการก่อสร้างโดยใช้แบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ผลการพยากรณ์ระยะเวลาก่อสร้างของโครงการกรณีศึกษาด้วย KFFM พบว่า ระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้มีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 41.4 เดือน ถึง 54.6 เดือน ซึ่งมากกว่าระยะเวลาก่อสร้างที่ระบุไว้ในสัญญา 39 เดือน เมื่อนำผลการพยากรณ์ระยะเวลาก่อสร้างมาประเมินโอกาสที่โครงการจะก่อสร้างเสร็จภายในระยะเวลาสัญญา พบว่ามีโอกาสสูงสุดที่ร้อยละ 10 เท่านั้น นอกจากนี้ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วย KFFM ยังถูกนำมาใช้ประเมินมูลค่าผลกระทบจากความล่าช้าในการก่อสร้างเช่นกัน ทั้งนี้ระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ด้วย KFFM และมูลค่าผลกระทบที่ประเมินได้เป็นเพียงการประมาณการเท่านั้น ไม่ใช่มูลค่าที่แท้จริงที่จะเกิดขึ้นอย่างแน่นอนในอนาคต อย่างไรก็ตามเครื่องมือที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้สามารถนำไปใช้ในการแจ้งเตือนถึงความเสี่ยงที่เกิดจากความล่าช้าในการก่อสร้างล่วงหน้า ซึ่งจะช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องรับรู้ถึงระดับความเสี่ยงในขณะนั้นรวมไปถึงมูลค่าผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินโครงการได้

| | | | |
|---|---|---|---|
| สาขาวิชา | วิศวกรรมโยธา | ลายมือชื่อนิสิต ............................................... |
| ปีการศึกษา | 2563 | ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ............................. |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# # 6170310821 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEYWORD: Kalman Filter, Infrastructure, Mass Rapid Transit, Public-Private Partnership, Construction Delay, Construction Management, Risk Management

Supattaradech Kasemsukh : Risk Assessment and Stakeholders' Impact Assessment of Construction Delay in Infrastructure Project by Using Kalman Filter Forecasting Method. Advisor: Assoc. Prof. Nakhon Kokkaew, Ph.D.

Public-Private Partnership (PPP) infrastructure projects often experience construction delay problems, which might have a negative impact on key stakeholders. Completion risk monitoring and early warning tools are, therefore, critical to the success of PPP infrastructure developments. In addition, appropriate risk management for these types of projects could help improve the project's risk profile and financial/economic outcomes of those involved. This research comprises two parts. The first part is to propose a completion risk analysis model of PPP infrastructure project, and the second is to propose an economic and financial assessment model for the impact of construction delay on key project's stakeholders (i.e., concessionaire, government, and people affected by the project). In the first part, a Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) is adopted as a tool to predict probabilistically the construction duration of a project under construction, which is the first outcome of this study. Then, probabilistic outcome of project duration based on KFFM is employed as input for the second part of the research, which are economic impact models used to estimate the financial and economic values. To illustrate how the proposed models can be applied in practice, a mass rapid transit project under construction is used as a case study.

The results of the case study project showed that the most probable construction duration ranged between 41.40 to 54.60 months while the contract's duration specified a 39-month period. In addition, the results indicated a low chance (i.e., 10%) that the project would be completed on the revised schedule. Accordingly, stakeholders' economic/financial impacts resulting from the expected delay can be estimated using the proposed models. It should be noted that the models presented in this research provide *expected* or *anticipated* estimates of the delay and its impacts, not a real value, which cannot be known in advance. However, the models presented in this research can be used as an early warning risk management tool to help people involved the construction of PPP infrastructure better understand the current completion risk level and its economic/financial impacts, which may help improve project's performance.

| | | |
|---|---|---|
| Field of Study: | Civil Engineering | Student's Signature ............................... |
| Academic Year: | 2020 | Advisor's Signature ............................. |

# กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นคร กกแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษาและช่วยชี้แนะอันเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งท่านได้มีส่วนช่วยในการตรวจสอบ แนะนำแนวทางในการแก้ไข ให้แง่คิดต่าง ๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์เรียบร้อย และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง รองศาสตราจารย์ ดร.วัชระ เพียรสุภาพ รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ลิขิตเรืองศิลป์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กองกูณฑ์ โตชัยวัฒน์ ที่ให้คำแนะนำ ตรวจสอบและมอบความเห็นที่มีคุณค่าต่อการปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ บริษัท บีทีเอส กรุ๊ป โฮลดิ้งส์ จำกัด (มหาชน) และการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่จำเป็นอย่างในการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ แล้วโดยเฉพาะ ดร.ประสิทธิพนธ์ โสวาปี และคุณปกรณ์ เกตุแย้ม ที่สละเวลาทำงานอันมีค่าเพื่อให้สัมภาษณ์ แนะนำและมอบข้อมูลสำคัญแก่ข้าพเจ้า

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจให้เสมอ อยู่เคียงข้างและสนับสนุนข้าพเจ้าตลอดมาจนถึงปัจจุบัน

สุพัตรเดช เกษมสุข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ........ ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ........ ง

กิตติกรรมประกาศ ........ จ

สารบัญ ........ ฉ

สารบัญรูปภาพ ........ ฒ

สารบัญตาราง ........ ต

บทที่ 1 บทนำ ........ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา ........ 1

1.2 วัตถุประสงค์ ........ 5

1.3 ขอบเขตการศึกษา ........ 6

1.4 วิธีการศึกษา ........ 6

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย ........ 7

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ........ 8

2.1 นิยามและประเภทของโครงสร้างพื้นฐาน ........ 8

2.2 โครงการร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชนหรือ Public-Private Partnership (PPP) ........ 8

2.3 การบริหารความเสี่ยงในโครงการก่อสร้าง ........ 11

2.4 การวางแผนและคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้าง ........ 14

2.5 การติดตามความคืบหน้าในการก่อสร้างด้วยวิธี Earned Value Management (EVM) และ Earned Schedule ........ 19

2.5.1 Earned Value Management (EVM) ........ 19

2.5.2 Earned Schedule ........ 21

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.6 การอนุมานแบบเบย์ (Bayesian Inference) ในงานวิศวกรรมโยธา ..... 23
2.7 Kalman Filter หรือ ตัวกรองคาลแมน ..... 27
2.7.1 Kalman Filter Algorithm ..... 28
2.8 เปรียบเทียบผลการใช้งานวิธี Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) และ Bayesian Adaptive forecasting Method (BAFM) ..... 31
2.9 ความล่าช้าในโครงการก่อสร้างและการชดเชยความเสียหายจากการล่าช้า ..... 34
2.10 ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในโครงการร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชน ..... 35
2.11 การประเมินผลกระทบต่อโครงการอันเนื่องมาจากความล่าช้าในการก่อสร้าง ..... 36
2.12 กรอบแนวคิดและสมมติฐานของงานวิจัย ..... 43
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย ..... 46
3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา ..... 46
3.2 ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย ..... 48
3.3 โครงการที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ..... 48
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล ..... 49
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล ..... 49
3.6 การประเมิน Completion risk ในช่วงการก่อสร้าง และการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบต่อ Stakeholder ด้วย Kalman Filter Forecasting Method ..... 49
3.6.1 การวางแผนการก่อสร้าง ..... 49
3.6.2 สร้างสมการทางคณิตศาสตร์จากทฤษฎี Kalman Filter สำหรับคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้าง ..... 50
3.6.2.1 การกำหนดค่าสถานะของระบบ ..... 50
3.6.2.2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะระบบ Transition Process ..... 50
3.6.2.3 Measurement process ..... 51

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.6.2.4 ค่าประมาณของสถานะ (State estimate) และ ค่าความแปรปรวนร่วมของความผิดพลาด (Error covariance) ........ 52

3.6.2.5 การเริ่มต้นใช้งาน Kalman Filter ........ 53

3.6.2.6 การคาดการณ์ระยะเวลาที่โครงการจะก่อสร้างแล้วเสร็จ ........ 55

3.7 สรุป ........ 56

บทที่ 4 แนวทางในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างและประเมินความเสี่ยงในการเกิดความล่าช้าในการก่อสร้างก่อสร้างของโครงการ ด้วยวิธี Kalman Filter Forecasting Method เพื่อนำไปใช้สำหรับการคาดการณ์ผลกระทบต่อผู้มีส่วนได้เสีย ........ 58

4.1 แนวทางในการใช้งาน Kalman Filter Forecasting Method ........ 58

4.2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณระหว่างผู้วิจัยและผู้ใช้งาน KFFM ท่านอื่น ........ 60

4.4 การศึกษาการใช้งาน KFFM กับโครงการจริง ........ 66

4.4.1 การคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างของโครงการ Gaysorn 2 ........ 66

4.4.2 โอกาสที่โครงการจะก่อสร้างได้เสร็จทันเวลา ........ 71

4.5 เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างกับวิธีการ EVM และ ESM ........ 77

4.6 ข้อดี สิ่งที่ควรคำนึง และข้อจำกัดในการใช้งาน Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) ........ 79

4.6.1 ข้อดีของ Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) ........ 79

4.6.2 สิ่งที่ควรคำนึงในการใช้งาน Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) ........ 79

4.6.3 ข้อจำกัดในการใช้งาน Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) ........ 80

4.7 สรุป ........ 81

บทที่ 5 การพัฒนาตัวแบบผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ที่เกิดจากความล่าช้า ในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ........ 83

5.1 ผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง ........ 84

5.2 ผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจสังคมจากความล่าช้าในการก่อสร้าง ........ 98

5.3 การจำแนกรายการผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ที่เกิดขึ้นกับผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ........ 110

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.4 การประยุกต์ใช้ตัวแบบผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการประเมินมูลค่าความเสียหายจากความล่าช้าที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคตของโครงการ....................114

5.5 สรุป....................118

บทที่ 6 การประยุกต์ใช้ Kalman Filter Forecasting Method กับโครงการรถไฟฟ้า สายสีชมพู 122

6.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู....................122

6.2 การใช้ Kalman Filter Forecasting Method เพื่อคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู....................123

6.3 การประเมินมูลค่าผลกระทบกับฝ่ายที่เกี่ยวข้อง โดยใช้ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างจาก Kalman Filter Forecasting Method....................131

6.3.1 ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทาน....................131

6.3.2 ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อภาครัฐเจ้าของโครงการร่วมกับประชาชน....................138

6.3.3 การคาดการณ์มูลค่าผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในอนาคต....................146

6.3.4 ความเชื่อมโยงระหว่างความเสี่ยงที่โครงการจะเกิดความล่าช้าในการก่อสร้างและผลกระทบต่อผู้มีส่วนได้เสีย....................154

6.4 การประยุกต์ใช้ผลจาก KFFM เพื่อคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างแบบ Stochastic ด้วย Monte Carlo Simulation....................155

6.5 สรุป....................159

บทที่ 7 สรุปงานวิจัย และข้อเสนอแนะ....................162

7.1 สรุปงานวิจัย....................162

7.2 ข้อเสนอแนะ....................173

7.3 บทส่งท้าย....................175

บรรณานุกรม....................176

ภาคผนวก....................182

ภาคผนวก ก แบบสอบถามสำหรับการเก็บข้อมูลเพื่อใช้งาน Kalman Filter Forecasting Method....................183

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข แบบสอบถามเพื่อการประเมินมูลค่าผลกระทบจากความล่าช้าในการก่อสร้างต่อผู้มีส่วนได้เสีย ...... 184

ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยวิธี KFFM และตัวอย่างผลการใช้งาน KFFM ด้วยโปรแกรม Excel ...... 193

ภาคผนวก ง การพิสูจน์ความถูกต้องของผลการ Simulation ใน Jump process ...... 207

ภาคผนวก จ รายการตัวแปรของตัวแบบผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ที่สำคัญ ...... 208

ประวัติผู้เขียน ...... 212

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญรูปภาพ


ภาพที่ 1.1 ความเสี่ยงที่สำคัญในแต่ละช่วงเวลาของโครงการโครงสร้างพื้นฐานที่ใช้สัญญาร่วมลงทุน 2

ภาพที่ 2.1 ตัวอย่าง Gantt chart ........ 14

ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างของ Arrow Network Diagram ........ 15

ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างของ Arrow Network Diagram ........ 16

ภาพที่ 2.4 ภาพตัวอย่างการใช้ Earned Value Management ........ 20

ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างการใช้งานวิธี Earned Schedule ........ 23

ภาพที่ 2.6 ภาพวัฏจักร Kalman filter ........ 28

ภาพที่ 2.7 ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยวิธี KFFM ........ 31

ภาพที่ 2.8 ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยวิธี BAFM ........ 32

ภาพที่ 2.9 กรอบแนวคิดของงานวิจัย (Conceptual framework) ........ 45

ภาพที่ 3.1 วัฏจักรในการคำนวณของวิธี Kalman Filter Forecasting Method ........ 54

ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา ........ 56

ภาพที่ 4.1 ลำดับการคำนวณเพื่อคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างและค่าความแปรปรวนของระยะเวลา ........ 60

ภาพที่ 4.2 แผนกำหนดการก่อสร้าง ........ 61

ภาพที่ 4.3 รายงานความคืบหน้าของโครงการจำลอง ........ 62

ภาพที่ 4.4 รายงานความคืบหน้าโครงการ Gaysorn 2 ........ 67

ภาพที่ 4.5 สรุปผลการใช้งาน KFFM โครงการ Gaysorn 2 Building ........ 69

ภาพที่ 4.6 ผลการปรับ model เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงส่วนเบี่ยนมาตรฐานของระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ด้วย KFFM ........ 71

ภาพที่ 4.7 โอกาสที่โครงการ Gaysorn 2 จะสำเร็จภายในระยะเวลาสัญญา ........ 72


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญรูปภาพ

ภาพที่ 4.8 โอกาสที่โครงการจะก่อสร้างเสร็จภายในระยะเวลาสัญญา (SD = 1 เดือน) .................... 73
ภาพที่ 4.9 โอกาสที่โครงการจะก่อสร้างเสร็จภายในระยะเวลาสัญญา (SD = 2 เดือน) .................... 73
ภาพที่ 4.10 โอกาสที่โครงการจะก่อสร้างเสร็จภายในระยะเวลาสัญญา (SD = 3 เดือน) .................. 74
ภาพที่ 4.11 ผลการใช้งาน KFFM โครงการ Gaysorn 2 Building (SD = 2 เดือน) ......................... 74
ภาพที่ 4.12 ผลการใช้งาน KFFM (R = 0) .......................................................................... 75
ภาพที่ 4.13 ผลการใช้งาน KFFM (R = 3) .......................................................................... 76
ภาพที่ 4.14 ผลการใช้งาน KFFM (R = 9) .......................................................................... 76
ภาพที่ 4.15 ผลการใช้งาน KFFM (R = 100) ...................................................................... 77
ภาพที่ 4.16 เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยวิธีการต่าง ๆ ............................. 78
ภาพที่ 4.2 แผนกำหนดการก่อสร้าง ................................................................................ 193
ภาพที่ 4.3 รายงานความคืบหน้าของโครงการจำลอง ............................................................ 194
ภาพที่ 5.1 Factor F งานก่อสร้างอาคาร ............................................................................ 88
ภาพที่ 5.2 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเงินและช่วงเวลาของโครงการ ............................ 95
ภาพที่ 5.3 การประเมินผลกระทบเมื่อเกิดความล่าช้าในการก่อสร้างลดระยะเวลาให้บริการ ........... 96
ภาพที่ 5.4 การประเมินผลกระทบเมื่อเกิดความล่าช้าในการก่อสร้างก่อให้เกิดการรับรู้รายได้ช้าลง . 96
ภาพที่ 5.5 วิธีต้นทุนมนุษย์ ............................................................................................ 107
ภาพที่ 5.6 ผลการคาดการณ์ระยะเวลาที่ได้จาก KFFM ....................................................... 114
ภาพที่ 5.7 แผนภูมิแสดงระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ ( $X_{k=3}$ ) ............................................ 115
ภาพที่ 5.8 แผนภูมิแสดงระยะเวลาโครงการที่ล่าช้าเกินไปจากระยะเวลาสัญญา ......................... 116
ภาพที่ 5.9 แผนภูมิแสดงมูลค่าความสูญเสียรายได้ค่าเช่าพื้นที่ภายในสถานี ................................. 117
ภาพที่ 6.1 แนวเส้นทางรถไฟฟ้า สายสีชมพู ..................................................................... 123

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# สารบัญรูปภาพ


ภาพที่ 6.2 แผนแสดงความก้าวหน้า S-Curve โครงการรถไฟฟ้า สายสีชมพู ................................ 126

ภาพที่ 6.3 ผลการใช้งาน KFFM เพื่อคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า สายสีชมพู ... 129

ภาพที่ 6.4 โอกาสที่โครงการสามารถเสร็จก่อนระยะเวลาตามแผน ................................ 130

ภาพที่ 6.5 Flowchart การประเมินมูลค่าผลกระทบจากระยะเวลาก่อสร้าง ................................ 146

ภาพที่ 6.6 ภาพรวมระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ของโครงการ รถไฟฟ้าสายสีชมพู ...................... 148

ภาพที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการก่อสร้างและมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้น ............... 151

ภาพที่ 6.8 การจำแนกมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับฝ่ายผู้รับสัมปทาน (NBM) ................................ 151

ภาพที่ 6.9 การจำแนกมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับฝ่ายภาครัฐ (รฟม.) ร่วมกับประชาชน ............. 152

ภาพที่ 6.10 มูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อผู้รับสัมปทาน (NBM) ................................ 153

ภาพที่ 6.11 มูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อฝ่ายภาครัฐ (รฟม.) ร่วมกับประชาชน ............................ 153

ภาพที่ 6.12 ผลการจำลองระยะเวลาก่อสร้างเมื่อเกิดอุทกภัยความรุนแรงเทียบเท่า ปี พ.ศ.2554 . 158

ภาพที่ 7.1 ต้นทุนของผู้มีส่วนได้เสียจากโครงการ ................................ 167


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ความสามารถในการพยากรณ์ของวิธี KFFM และ BAFM ........ 33

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติพื้นฐานของวิธี KFFM และ BAFM........ 33

ตารางที่ 2.3 รายการความเสียหายจากความล่าช้าที่เกิดขึ้นกับโครงการ PPP ........ 42

ตารางที่ 4.1 รายงานความคืบหน้า ณ ช่วงวันที่ทำการใช้งาน KFFM........ 62

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยการใช้ KFFM โดยผู้วิจัย ........ 63

ตารางที่ 4.3 ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วย KFFM โดย Abdel Azeem et al. (2014) . 64

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการใช้งาน KFFM ระหว่างผู้วิจัยและ Abdel Azeem et al. (2014).. 65

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลระยะเวลาก่อสร้างที่เร็วที่สุดและช้าที่สุดที่คาดการณ์ด้วย KFFM ระหว่างผู้วิจัยและ Abdel Azeem et al. (2014) ........ 65

ตารางที่ 4.6 ค่าของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ........ 66

ตารางที่ 4.7 ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างของโครงการ Gaysorn 2 โดยใช้ Kalman Filter Forecasting Method ........ 68

ตารางที่ 4.1 รายงานความคืบหน้า ณ วันที่ 4 ของโครงการ........ 195

ตารางที่ 4.2 รายงานความคืบหน้า ณ วันที่ 8 ของโครงการ........ 198

ตารางที่ 5.1 ค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะที่ระดับความเร็วต่าง ๆ ........ 101

ตารางที่ 5.2 สรุปรายการผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง........ 119

ตารางที่ 5.3 สรุปรายการผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจสังคมจากความล่าช้าในการก่อสร้าง ........ 121

ตารางที่ 5.4 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณผลกระทบแต่ละผู้มีส่วนได้เสีย (เสนอตัวแบบโดยผู้วิจัย)........ 121

ตารางที่ 6.1 สรุปค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับ KFFM ........ 127

ตารางที่ 6.2 ผลการคำนวณโดยการใช้ KFFM สำหรับโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู........ 128

ตารางที่ 6.3 รายการผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทาน........ 132

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6.4 สรุปรายการมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้รับสัมปทาน (NBM).................................136

ตารางที่ 6.5 รายการผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อภาครัฐเจ้าของโครงการร่วมกับประชาชน ...................138

ตารางที่ 6.6 สรุปรายการมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับภาครัฐ (รฟม.) ร่วมกับประชาชน................143

ตารางที่ 6.7 สรุปผลระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ของโครงการ รถไฟฟ้าสายสีชมพูจากการใช้ KFFM ..........................................................................................................................................147

ตารางที่ 6.8 มูลค่าผลกระทบต่อฝ่ายที่เกี่ยวข้องโดยเฉลี่ย..............................................................149

ตารางที่ 6.9 โอกาสที่โครงการจะก่อสร้างล่าช้าและมูลค่าผลกระทบต่อผู้ส่วนได้เสีย......................154

ตารางที่ ค.1 สรุปผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยการใช้ KFFM โดยผู้วิจัย .....................200

ตารางที่ ค.2 ผลการใช้งาน KFFM กับโครงการ Gaysorn 2...........................................................201

ตารางที่ ค.3 ผลการใช้งาน KFFM กับโครงการโครงสร้างรถไฟฟ้า สายสีชมพู ...............................205

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยในปัจจุบันกำลังอยู่ในช่วงพัฒนาระบบโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure system) เพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการของประชาชนในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านการคมนาคม สาธารณูปโภค ไปจนถึงด้านพลังงาน ส่งผลทำให้เกิดโครงการด้านโครงสร้างพื้นฐานหลายประเภทด้วยกัน ตัวอย่างเช่น โครงการรถไฟฟ้า โครงการทางยกระดับ โครงการเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำ เป็นต้น ซึ่งโครงการเหล่านี้เป็นโครงการที่ต้องการเงินลงทุนสูง (Capital intensive) และยังต้องการเครื่องจักรก่อสร้างและแรงงานจำนวนมาก อีกทั้งยังจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีและเทคนิคการก่อสร้างขั้นสูง จึงอาจกล่าวได้ว่าโครงการโครงสร้างพื้นฐานหลายโครงการยังมีความซับซ้อนและความยากในการก่อสร้าง มีความเสี่ยงสูงในช่วงก่อสร้างและช่วงดำเนินงาน เช่น ความเสี่ยงด้านต้นทุนการก่อสร้าง และความเสี่ยงด้านปริมาณการใช้งานในช่วงดำเนินการ เป็นต้น

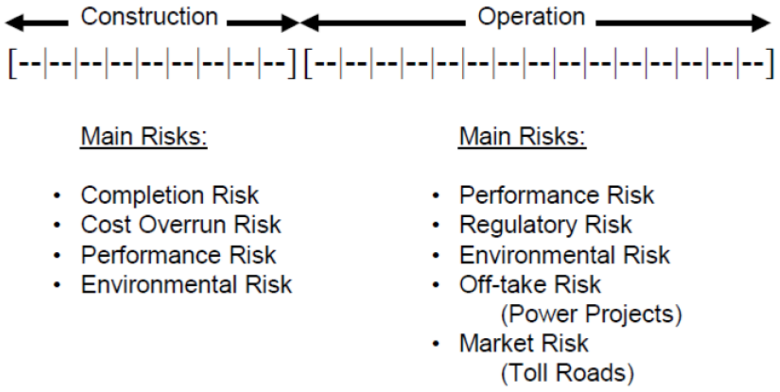
การพัฒนาโครงการโครงสร้างพื้นฐานเป็นหน้าที่ของรัฐโดยตรงตามกฎหมาย อย่างไรก็ตาม เพื่อเป็นการลดภาระทางการเงินและกระจายความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นจากการพัฒนาโดยรัฐเอง รัฐอาจเลือกใช้วิธีพัฒนาโครงการในรูปแบบที่เรียกว่า “การร่วมลงทุนระหว่างรัฐและเอกชน” หรือ Public-Private Partnership (PPP) ซึ่งเป็นการร่วมทุนระหว่างหน่วยงานภาครัฐที่เป็นเจ้าของโครงการ (Public agency) เช่น กรมทางหลวง การทางพิเศษแห่งประเทศไทย เป็นต้น และบริษัทเอกชนคู่สัญญา (Project company) หรือที่เรียกว่า บริษัทผู้รับสัมปทาน (Concessionaire) โดยที่ภาครัฐและเอกชนจะแบ่งสรรความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในช่วงการพัฒนาโครงการและในช่วงการดำเนินงานตามที่ตกลงไว้ในสัญญาร่วมลงทุน (PPP contractual arrangements) ซึ่งรูปแบบสัญญาร่วมลงทุนระหว่ารัฐและเอกชนนั้นมีหลายประเภทด้วยกัน ยกตัวอย่างเช่น รูปแบบ Build-Operate-Transfer (BOT), Build-Transfer-Operate (BTO) และ Build-Own-Operate (BOO) เป็นต้น

สำหรับสัญญาร่วมลงทุนระหว่างภาครัฐและเอกชน โดยมากภาครัฐมักจะรับผิดชอบในการจัดกรรมสิทธิที่ดิน ในส่วนเอกชนผู้รับสัมปทานรับผิดชอบในการจัดหาแหล่งเงินทุนในการก่อสร้าง ความเสี่ยงในการก่อสร้าง ตลอดจนรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงดูแลรักษาโครงการต่อไปจนครบระยะเวลาสัญญาร่วมลงทุน และมีสิทธิ์ในการเก็บผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตามสัญญานั้น ๆ โดยเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาของสัญญาร่วมลงทุน เอกชนต้องโอนสินทรัพย์ (Asset transfer) ทั้งหมดของโครงการให้กับหน่วยงานของรัฐที่เป็นคู่สัญญา

เนื่องจากโครงการโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นการร่วมลงทุนนั้นส่วนใหญ่เป็นโครงการขนาดใหญ่ (Large-scale or mega project) ต้องการเงินลงทุนในการก่อสร้างที่สูง (Capital intensive) มีระยะเวลาของสัญญาที่ยาวนาน (Long contract period) โดยระยะเวลาสัญญาประกอบด้วยระยะเวลาในการก่อสร้าง (Construction period) และระยะเวลาในการดำเนินงาน (Operation period) ทำให้โครงการมีความเสี่ยงสูง ทั้งในช่วงเวลากการก่อสร้างและช่วงการดำเนินงาน ความเสี่ยงที่สำคัญของโครงการโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นการร่วมลงทุนเป็นดังแสดงในภาพที่ 1.1




*ภาพที่ 1.1 ความเสี่ยงที่สำคัญในแต่ละช่วงเวลาของโครงการโครงสร้างพื้นฐานที่ใช้สัญญาร่วมลงทุน*
*(ที่มา: Dailami, Lipkovich and Dyck, 1999)*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากภาพที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าความเสี่ยงที่สำคัญในช่วงการก่อสร้างประกอบด้วย ความเสี่ยงด้านการแล้วเสร็จของโครงการ ความเสี่ยงด้านต้นทุนการก่อสร้าง ความเสี่ยงด้านคุณภาพ และความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม ส่วนความเสี่ยงในช่วงการดำเนินงานได้แก่ ความเสี่ยงด้านผลการดำเนินงาน (Performance risk) ความเสี่ยงด้านกฎระเบียบ ความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงด้านตลาด (Market risk) เช่น ปริมาณความต้องการการใช้งานในอนาคต เป็นต้น

ในทางทฤษฎี นอกจากความเสี่ยงในแต่ละช่วงเวลาอาจมีความสัมพันธ์กัน เช่น ความเสี่ยงในเรื่องเวลาการก่อสร้าง (Completion risk) ย่อมส่งผลต่อความเสี่ยงในเรื่องของต้นทุนในการก่อสร้าง (Cost overrun risk) โดยเฉพาะต้นทุนทางอ้อมที่เป็น Period cost เช่น ค่าเช่าเครื่องจักร ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร เป็นต้น อย่างไรก็ตาม สำหรับโครงการร่วมลงทุน ซึ่งมีการโอนความเสี่ยงในช่วง

การก่อสร้างและการดำเนินงานไปรวมไว้ในสัญญาเดียว (Integrated project delivery) ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในช่วงก่อสร้างนอกจากจะสัมพันธ์หรือส่งผลต่อความเสี่ยงอื่น ๆ ในช่วงเดียวกันแล้ว ความเสี่ยงนั้น ๆ อาจส่งผลต่อความเสี่ยงอื่น ๆ ในช่วงดำเนินการ (Operation period) ด้วย ตัวอย่างเช่น ความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการอาจส่งผลต่อต้นทุนทางการเงิน (ต้นทุนดอกเบี้ยในการกู้ยืมเงินเพื่อใช้ในการลงทุนก่อสร้าง) ค่าเสียโอกาส (Opportunity cost) และส่งผลต่อการเริ่มเปิดให้บริการของโครงการ หรือที่เรียกว่า Commercial operation date (COD) ของโครงการ ซึ่งส่งผลต่อการรับรู้รายได้ของโครงการที่ล่าช้า (Hoffman, 2007)

การพัฒนาโครงการโครงสร้างพื้นฐานโดยเฉพาะโครงการประเภทรถไฟฟ้า ทั้งในอดีตและปัจจุบันหลาย ๆ โครงการที่ใช้สัญญาในรูปแบบ PPP มักจะเกิดความล่าช้าในขั้นตอนการก่อสร้างและทดลองระบบ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการลงทุนสูงและไม่ก่อให้เกิดรายได้ ความล่าช้าในขั้นตอนดังกล่าวนอกจากจะส่งผลกระทบทางตรงต่อภาครัฐและเอกชนคู่สัญญาแล้ว ยังส่งผลทางอ้อมต่อผู้เกี่ยวข้องอื่น ๆ เช่น ประชาชนในพื้นที่ เป็นต้น  ซึ่งความล่าช้าในการก่อสร้างนี้เป็นสาเหตุสำคัญที่นำไปสู่การบอกเลิกสัญญาในที่สุด (Contract termination) ซึ่งจะเห็นได้ว่าปัญหาความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการส่งผลกระทบค่อนข้างมากต่อความสำเร็จของโครงการที่เป็นการร่วมลงทุน ซึ่งมีระยะเวลาสัญญาที่จำกัด เช่น 30 ปี เป็นต้น ดังนั้นการวางแผนการก่อสร้างในโครงการร่วมลงทุนจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จของโครงการ

ปัจจุบันโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ไม่ว่าจะเป็นโครงการของรัฐ เอกชน หรือที่เป็นการร่วมลงทุนระหว่างรัฐและเอกชน จำเป็นต้องมีการวางแผนด้านเวลาและประเมินความเสี่ยงในช่วงก่อสร้าง เช่น ความเสี่ยงด้านเวลาและต้นทุนในการก่อสร้าง เป็นต้น สำหรับเครื่องมือที่เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางในแวดวงวิศวกรรมและการบริหารที่ใช้ในการวางแผนการทำงาน ได้แก่ Critical Path Method (CPM) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการกำหนดระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมดของโครงการ ทั้งนี้เนื่องจากโครงการก่อสร้างนั้นมักจะเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงและความไม่แน่นอนอยู่เสมอ ดังนั้นจึงมีการคิดวิธีคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับโครงการด้วยวิธี Project Evaluation Review Technique (PERT) โดยที่วิธี PERT จะมีหลักการพื้นฐานมาจากวิธีการ CPM แต่ผลลัพธ์ของการใช้ PERT จะช่วยวิเคราะห์แบบความน่าจะเป็นของการแล้วเสร็จของโครงการได้อีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีการ CPM ยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องให้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมการก่อสร้าง (Correlation) เช่น วิธีการที่เรียกว่า Stochastic critical path method (SCPM) ซึ่ง SCPM ส่วนใหญ่ใช้วิธี Monte Carlo simulation โดยระยะเวลาของกิจกรรม (Activity duration) มีการจำลองโดยใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้ถูกมองว่ามีผลทำให้ความเสี่ยงของโครงการที่จะไม่แล้วเสร็จตามสัญญาสูงเกินจริง (Overestimation of completion risk) (Khodakarami et al., 2007) เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างตัวแปรที่เป็นกิจกรรมการทำงานนั้น อาจจะไม่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน เช่น การที่ตั้งสมมติฐานว่าหากกิจกรรม A ล่าช้าหรือใช้ระยะเวลาในการทำงานมากกว่าที่ได้ประเมินไว้ กิจกรรมถัดไป (Succeeding activity) เช่น กิจกรรม B ก็มีโอกาสสูงที่จะมีระยะเวลาในการทำงานมากระยะเวลาที่ได้ประเมินไว้ หากกิจกรรม A และ B มีค่าสหสัมพันธ์เชิงบวก (Positive correlation) เป็นต้น แต่ในทางปฏิบัติ ผู้จัดการโครงการอาจเร่งการทำงานของกิจกรรมถัดไปก็ได้ นั่นทำให้กิจกรรม B อาจมีเวลาการทำงานที่มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับเวลาการทำของกิจกรรม A ก็ได้ ซึ่งการนำการจัดการที่เกิดจากผู้จัดการโครงการ (Managerial feedback) เข้ามาเป็นปัจจัยในการวิเคราะห์ความเสี่ยงด้านเวลาของโครงการมีผลทำให้ความเสี่ยงลดลง โดยวิธีที่ใช้ในการจำลองการจัดการของผู้จัดการโครงการได้แก่วิธีที่เรียกว่า Envelope method (Kokkaew and Chiara, 2010)

ทั้งนี้เครื่องมือดังกล่าวข้างต้นเป็นเพียงเครื่องมือใช้สำหรับการคาดการณ์ความเสี่ยงในเรื่องระยะเวลาก่อสร้างในช่วงการวางแผนเท่านั้น (Planning phase) เท่านั้น อีกทั้งยังพบว่ามีงานวิจัยไม่กี่ฉบับที่ศึกษาความเชื่อมโยงระหว่าง Completion risk ในช่วง Construction period และผลกระทบต่อผู้มีส่วนได้เสียที่อาจเกิดขึ้นจากความล่าช้าในเชิงปริมาณ และยิ่งไปกว่านั้นสำหรับโครงการร่วมทุนซึ่งเป็น Large-scale project ที่มีผู้เกี่ยวข้องกับโครงการมากมาย การเผชิญความเสี่ยงในเรื่องระยะเวลาก่อสร้าง (Completion risk) สามารถส่งผลต่อความเสี่ยงอื่น ๆ ในช่วงดำเนินการ (Operation Period) และส่งผลกระทบต่อผู้เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการประเมิน Completion risk ในช่วงระหว่างการก่อสร้าง จะช่วยให้บริษัทผู้รับสัมปทาน (Concessionaire) และ ภาครัฐผู้เป็นเจ้าของสัมปทาน (Public agency) มีข้อมูลในการประเมินผลกระทบทางเศรษฐกิจและการเงินที่อาจจะเกิดขึ้นที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้า อีกทั้งยังช่วยให้ผู้จัดการโครงการ (Project manager) ทราบถึงโอกาสที่โครงการจะก่อสร้างได้เสร็จทันเวลาอีกด้วย

สำหรับวิธีการประเมิน Completion risk ในช่วง Construction period ผู้เขียนได้ทำการศึกษาวิธีการต่าง ๆ พบว่ามีวิธีที่น่าสนใจคือ Kalman Filter Forecasting Method (KFFM)

เป็นวิธีที่ถูกคิดค้นโดย Kim and Reinschmidth (2010) KFFM เป็นการประยุกต์ใช้วิธีในการประมาณค่าที่มีชื่อว่า Kalman filter เข้ากับวิธี Earned schedule ที่มีความสามารถในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างในระหว่างช่วง Construction period ผลจากการใช้งาน KFFM จะทำให้ผู้ใช้งานเช่นผู้รับเหมา ผู้จัดการโครงการ บริษัทเอกชนผู้รับสัมปทานและภาครัฐผู้เป็นเจ้าของโครงการ ทราบถึงระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ (Construction duration) เพื่อนำไปใช้สำหรับการประเมิน Completion risk ของโครงการต่อไป

ในส่วนของการศึกษาความเชื่อมโยงของความเสี่ยงระหว่าง Completion risk และ มูลค่าผลกระทบต่อผู้มีส่วนได้เสียที่อาจเกิดขึ้นจากความล่าช้าในการก่อสร้างจะใช้ผลจากการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างที่ได้จากการใช้ KFFM เพื่อคาดการณ์ผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นในช่วง operation period ซึ่งจะทำให้บริษัทเอกชนผู้รับสัมปทาน (Concessionaire) และภาครัฐเจ้าของโครงการ (Public agency) รับรู้ถึงผลกระทบที่อาจที่จะเกิดขึ้นกับฝ่ายของตนหากโครงการเกิดความล่าช้าขึ้น

ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะช่วยสร้างแนวทางให้เอกชนผู้รับสัมปทาน (Concessionaire) และ หน่วยงานภาครัฐคู่สัญญา (Contracting public agency) สามารถประเมินเสี่ยงด้าน Completion risk และคาดการณ์ผลกระทบที่จะเกิดกับฝ่ายดังกล่าวเนื่องจากความล่าช้าของโครงการร่วมลงทุนประเภทโครงสร้างพื้นฐานได้ล่วงหน้า เพื่อเพิ่มความสำเร็จของโครงการให้มากยิ่งขึ้น

**1.2 วัตถุประสงค์**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความเสี่ยงด้านการแล้วเสร็จของการก่อสร้าง (Completion risk) สำหรับโครงการโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นการร่วมลงทุนระหว่างรัฐและเอกชน โดยวิธี Kalman Filter Forecasting Method เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมและติดตามความก้าวหน้าในการก่อสร้างของทั้งเอกชนที่ได้รับสัมปทานและหน่วยงานรัฐเจ้าของโครงการ และเพื่อใช้ในการประเมินผลกระทบจากความล่าช้าในการก่อสร้าง

2. เพื่อประเมินผลกระทบในรูปของตัวเงินที่เกิดจากความล่าช้า ต่อเอกชนผู้รับสัมปทาน (Concessionaire) ภาครัฐเจ้าของสัมปทาน (Public agency) และ ภาคประชาชน (People) โดยใช้ตัวแบบทางการเงินและเศรษฐศาสตร์ (Financial & economic models)

**1.3 ขอบเขตการศึกษา**

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมุ่งเน้นไปที่การจัดการความเสี่ยงด้านระยะเวลาก่อสร้างที่เกิดขึ้นกับโครงการ PPP โดยมีขอบเขตในการศึกษาดังนี้

1. งานวิจัยฉบับนี้จะศึกษาโครงการโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นโครงการร่วมลงทุนระหว่างภาครัฐและเอกชน ประเภทโครงการรถไฟฟ้าในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเท่านั้น

2. การศึกษาจะมุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้วิธี Kalman Filter Forecasting Method กับโครงการจริงเพื่อคาดการณ์ระยะเวลาสร้างและประเมินความเสี่ยงด้านระยะเวลาก่อสร้าง (Completion risk) ในช่วงระหว่างการก่อสร้าง

3. ศึกษาผลกระทบเฉพาะที่สามารถวัดเป็นตัวเงินได้และเกี่ยวข้องกับ 3 ผู้มีส่วนได้เสีย ได้แก่ เอกชนผู้รับสัมปทาน (Concessionaire) ภาครัฐเจ้าของสัมปทาน (Public agency) และภาคประชาชน (People)

**1.4 วิธีการศึกษา**

1. ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review) เพื่อค้นคว้าแนวคิดและทฤษฎีที่มีประโยชน์สำหรับงานวิจัย

2. สร้างกรอบแนวความคิดและสมมติฐานของงานวิจัย (Conceptual framework and hypothesis) เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต้น และตัวแปรตามที่สนใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. ศึกษาและวิเคราะห์ความเสี่ยงด้านการแล้วเสร็จของการก่อสร้าง (Completion risk) ซึ่งเป็นตัวแปรต้น ด้วยวิธี Kalman Filter Forecasting Method สำหรับพยากรณ์ระยะเวลาก่อสร้างโดยใช้ข้อมูลจากผลการรายงานความก้าวหน้าของโครงการที่กำลังดำเนินการก่อสร้างอยู่

4. สร้างตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ (Economic model) เพื่อศึกษาผลกระทบจากระยะเวลาก่อสร้างต่อเอกชนผู้รับสัมปทาน ภาครัฐ และภาคประชาชน ในขั้นตอนนี้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์จะถูกสร้างขึ้นเพื่อให้เห็นว่าระยะก่อสร้างส่งผลกระทบต่อฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทาน ฝ่ายภาครัฐและประชาชนที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ในรูปของตัวเงิน

5. การประเมินความเสี่ยงด้านระยะเวลาก่อสร้างและประเมินผลกระทบจากระยะเวลาก่อสร้างของโครงการกรณีศึกษา 1 โครงการ เพื่อเป็นการประยุกต์ใช้วิธี KFFM กับโครงการจริง

จากนั้นจึงประเมินความเสี่ยงที่โครงการจะเกิดความล่าช้า ตลอดจนคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ และนำไปประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเอกชนผู้รับสัมปทาน ภาครัฐ และภาคประชาชน

6. อภิปรายและสรุปผลการศึกษา ระบุข้อจำกัดของการวิจัยและข้อเสนอแนะในการทำวิจัยในอนาคต

**1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย**

1. ผู้จัดการโครงการของฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทานและภาครัฐมีแนวทางในการประเมินความเสี่ยงด้านระยะเวลาก่อสร้างเพิ่มขึ้นด้วยการใช้งาน KFFM

2. เอกชนผู้รับสัมปทานและภาครัฐสามารถคาดการณ์ผลกระทบจากความล่าช้าในการก่อสร้างของโครงการร่วมลงทุนได้ล่วงหน้า โดยใช้แนวคิดและวิธีการจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 2
# แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2 จะกล่าวถึงแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งงานวิจัยต่าง ๆ ที่ถูกกล่าวถึงในบทนี้จะประกอบด้วยงานวิจัยเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ

## 2.1 นิยามและประเภทของโครงสร้างพื้นฐาน

โครงสร้างพื้นฐาน คือ ระบบหรือบริการขั้นพื้นฐานที่ถูกใช้งานโดยรัฐหรือเอกชนเพื่อสร้างประสิทธิภาพในการทำงานและตอบสนองความต้องการต่าง ๆ ให้แก่ชุมชน รัฐ และประเทศ ยกตัวอย่างเช่นระบบการขนส่งทางรางและระบบพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น (Walter, 2008)

จากการศึกษางานวิจัยโครงสร้างพื้นฐานสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ประกอบด้วย (1) Hard Infrastructure หมายถึง โครงสร้างพื้นฐานที่เป็นกายภาพ เช่น สิ่งปลูกสร้าง เครื่องมืออุปกรณ์ ยกตัวอย่างเช่น รถไฟ ถนน โรงไฟฟ้าและโครงข่ายโทรคมนาคม และ (2) Soft Infrastructure เช่น กฎหมาย ขอบข่ายงาน หรือนโยบายต่าง ๆ ที่ช่วยให้ภาครัฐหรือเอกชนทำงานได้อย่างราบรื่น (Kessides Ioannis, 2004) ส่วนของงานวิศวกรรมโยธาจะมีความเกี่ยวข้องกับ Hard Infrastructure และ Soft Infrastructure แต่จะมุ่งเน้นไปที่ Hard Infrastructure เป็นส่วนมาก

สำหรับภาครัฐการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างมากเนื่องจากโครงสร้างพื้นฐานจะช่วยเติมเต็มความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชนในประเทศ ทั้งยังมีส่วนช่วยในการกระตุ้นเศรษฐกิจของประเทศให้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย (Ali and Pernia, 2003) ซึ่งในส่วนของงานวิจัยฉบับนี้จะมุ่งเน้นศึกษาโครงการโครงสร้างพื้นฐานที่เป็น Hard Infrastructure เพื่อศึกษาผลกระทบของความล่าช้าในการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานทางกายภาพ

## 2.2 โครงการร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชนหรือ Public-Private Partnership (PPP)

ในปี ค.ศ.1992 รัฐบาลอังกฤษได้นำเสนอรูปแบบการจัดซื้อจัดจ้างรูปแบบหนึ่งชื่อว่า “Private Finance Initiative” หรือ PFI ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของโครงการร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชน เพื่อกระตุ้นความร่วมมือในการลงทุนจากภาคเอกชน รัฐบาลอังกฤษพบว่าประสบความสำเร็จเป็นอย่างมาก (Roe and Craig, 2004) ทำให้โครงการร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชน กลายเป็นทางเลือกที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Public-Private Partnership (PPP) หรือ การร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชนนั้นยังไม่มีคำนิยามที่ชัดเจน จากการศึกษางานวิจัยของ (Cruz and Marques, 2013) สามารถตีความได้ว่า PPP คือ รูปแบบจัดซื้อจัดจ้างสำหรับโครงการโครงสร้างพื้นฐานหรือบริการ ด้วยการร่วมมือกันระหว่างภาครัฐและเอกชนผ่านทางหนังสือสัญญาหรือการจัดตั้งองค์กร เพื่อสร้างความมั่นใจว่าโครงสร้างพื้นฐานหรือการบริการนั้น ๆ จะสามารถเข้าถึงประชาชนได้ สำหรับประเทศไทยในรายงานวิชาการของสำนักงบประมาณของรัฐสภาให้ความหมายของการร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชนว่า "การร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชน หมายถึง การให้เอกชนร่วมลงทุนในกิจการของรัฐ คือ การอนุญาต หรือให้สัมปทาน หรือให้สิทธิแก่เอกชนดำเนินกิจการของรัฐทั้งในกิจการเชิงพาณิชย์และเชิงสังคม ซึ่งกิจการของรัฐดังกล่าวต้องเป็นกิจการที่ส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ หน่วยงานอื่นของรัฐ หรือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีอำนาจหน้าที่ที่ต้องทำตามกฎหมาย หรือกิจการดังกล่าวจะต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติหรือทรัพย์สินของส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ หน่วยงานอื่นของรัฐ หรือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น" (จุไรลักษณ์ เอี้ยวพันธ์ และ สาวิตรี วาระคำ, 2559) จากประโยคดังกล่าว การร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชนในประเทศไทยไม่ได้จำกัดเพียงแค่โครงสร้างพื้นฐานเท่านั้น มีกิจการอื่น ที่ไม่ใช่กิจการเชิงสังคมที่รัฐเป็นเจ้าของเท่านั้น ยังมีกิจการเชิงพาณิชย์อีกด้วย

สำหรับโครงการ PPP ในประเทศไทยมีการใช้การร่วมทุนระหว่างรัฐบาลและเอกชนทั้งหมด 5 ด้าน ประกอบไปด้วย 1. ด้านการคมนาคม 2. ด้านการจัดการน้ำ 3. ด้านการสื่อสาร 4. ด้านการบริหารจัดการขยะและ 5. ด้านอื่น ๆ ทั้งนี้ประเภทสัญญาที่นิยมใช้สำหรับโครงการ PPP ในประเทศไทยที่ผ่านมามีทั้งหมด 4 รูปแบบ ประกอบด้วย

1) Build-Operate-Transfer หรือ BOT รูปแบบสัญญาประเภทนี้รัฐบาลจะให้เอกชนผู้รับสัมปทานเป็นผู้ลงทุนดำเนินการสร้างและดำเนินการให้บริการแก่ประชาชนเอง โดยที่ผู้รับสัมปทานต้องบำรุงรักษาโครงการให้อยู่ในสภาพที่พร้อมสำหรับส่งมอบคืนให้กับภาครัฐเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาสัญญา

2) Build-Own-Operate-Transfer หรือ BOOT รูปแบบสัญญาประเภทนี้ภาครัฐจะให้สิทธิ์แก่เอกชนผู้รับสัมปทานในการจัดหาแหล่งเงินทุน และดำเนินการก่อสร้างและดำเนินการทั้งหมด ซึ่งกรรมสิทธิ์ในสินทรัพย์จะตกเป็นของภาครัฐเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาสัญญาตามแต่ตกลง

3) Build-Lease-Operate-Transfer หรือ BLOT เป็นรูปแบบนี้คือการที่รัฐให้สิทธิ์เอกชนในการออกแบบ และก่อสร้างบนพื้นที่ที่รัฐให้เช่า เมื่อหมดสัญญาแล้วเอกชนต้องส่งมอบโครงการคืนให้แก่ภาครัฐ

4) Build-Rent-Operate-Transfer หรือ BROT รูปแบบนี้คือเมื่อเอกชนทำการโอนคืนให้รัฐแล้ว เอกชนผู้รับสัมปทานทำการเช่าโครงการต่อ

นอกจากนี้จากการศึกษารูปแบบของโครงการ PPP ในต่างประเทศของสำนักงบประมาณรัฐสภาได้สรุปว่าในต่างประเทศนั้นมีรูปแบบของโครงการ PPP ที่เป็นที่นิยมทั้งหมด 3 ประเภท ประกอบด้วย

1) Design-Build-Finance-Operate/Maintenance หรือ (DBFO/DBFM) มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันกับ BOT คือรัฐบาลให้สิทธิ์แก่เอกชนผู้รับสัมปทานในการ ออกแบบ ก่อสร้าง จัดหาเงินทุน และทำการดำเนินการ ทั้งนี้สิทธิ์ในความเป็นเจ้าของโครงการนั้นจะตามแต่ตกลงกัน

2) Design-Build-Own-Operate หรือ (DBOO) รัฐเป็นเจ้าโครงการ โดยการให้เอกชนเป็นผู้ออกแบบและดำเนินการ โดยภาครัฐจะให้ผลตอบแทนเป็นค่าจ้างในการบริหารโครงการแก่เอกชน

3) Build-Own-Operate-Transfer หรือ (BOOT) เหมือนดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น

นอกจากนี้จากการศึกษาเอกสารของ Cruz et al. (2017) พบว่ากลไกการแบ่งปันรายได้สำหรับโครงการ PPP ในประเทศไทยมีความแตกต่างจากโครงการร่วมทุนในต่างประเทศ ซึ่งกลไกในการแบ่งปันรายได้มีทั้งหมด 3 รูปแบบ ประกอบด้วย

1) Gross cost รัฐมีอำนาจในการจัดเก็บรายได้ทั้งหมด จากนั้นจึงทำการแบ่งผลกำไรแบบกำหนดราคาให้กับภาคเอกชนตามที่ตกลงในสัญญา

2) Modified cost รัฐมีหน้าที่จัดเก็บรายได้และแบ่งปันรายได้ให้กับภาคเอกชนตามตกลง

3) Net Cost เอกชนผู้รับสัมปทานเป็นผู้จัดเก็บรายได้ และปันส่วนรายได้กับภาครัฐตามที่ตกลงในสัญญา

ตามที่พระราชบัญญัติการให้เอกชนร่วมลงทุนในกิจการของรัฐ พ.ศ. 2556 ได้ระบุว่ารัฐบาลต้องจัดทำแผนยุทธศาสตร์จัดให้มีการร่วมทุนระหว่างรัฐและเอกชน เพื่อจัดให้เป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาประเทศ จากนั้นรัฐบาลได้ประกาศแผนยุทธศาสตร์การให้เอกชนร่วมทุนในกิจการของรัฐ พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2562 ประกอบด้วย 66 โครงการ มูลค่ารวมประมาณ 1.5 ล้านล้านบาท เห็นได้ว่าประเทศไทยนั้นมีการลงทุนในโครงการ PPP มีมูลค่าสูงและมีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอีกหลายโครงการ

**2.3 การบริหารความเสี่ยงในโครงการก่อสร้าง**

การบริหารความเสี่ยงเป็นศาสตร์ที่นิยมใช้กับงานทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นด้านการเงิน หรือด้านวิศวกรรม ซึ่งการบริหารความเสี่ยงจะช่วยให้ผู้เกี่ยวข้องกับโครงการเห็นถึงโอกาสและความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นกับโครงการในอนาคต โดยขั้นตอนในการบริหารความเสี่ยงจะแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ (1) การระบุความเสี่ยง หรือ Risk identification (2) การจำแนกความเสี่ยง หรือ Risk classification (3) การประเมินความเสี่ยง หรือ Risk evaluation และ (4) การตอบสนองต่อความเสี่ยง หรือ Risk response (Flanagan, 1993; Institution of Civil Engineers [ICE], 2009) ซึ่งในแต่ละขั้นตอน Flanagan (1993) ได้ให้แนวทางในการจัดทำดังต่อไปนี้

1) การระบุความเสี่ยง (Risk identification)

Risk identification คือ การระบุความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นกับโครงการหรือกิจกรรมจะทำได้โดยวิธีการที่ใช้มักจะเป็นการรวบรวมความคิด หรือที่เรียกว่า Brainstorm ซึ่งจะเป็นการเสนอแนวคิดเกี่ยวกับความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น โดยผู้เชี่ยวชาญหรือผู้มีประสบการณ์ หรือรวบรวมโดยศึกษาจากงานวิจัยเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง ทั้งนี้การระบุความเสี่ยงที่เกิดขึ้นควรคำนึงถึงความเชี่ยวชาญประสบการณ์ของผู้ที่มาร่วม brainstorm และความน่าเชื่อถือของงานวิจัยที่ทำการศึกษาด้วย (Smith et al., 2014)

2) การจำแนกความเสี่ยง (Risk classification)

เป็นการจำแนกความเสี่ยงที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ออกเป็นชนิดต่าง ๆ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 แนวทางในการจำแนกดังนี้

ก. จำแนกตามประเภทของความเสี่ยง (Type of risk)

การจำแนกความเสี่ยงด้วยแนวทางนี้เป็นการจำแนกตามต้นกำเนิดของความเสี่ยง ยกตัวอย่างเช่น หากมีการโครงการก่อสร้างโครงการหนึ่ง มีความเสี่ยงที่ราคาของวัสดุก่อสร้างจะสูงขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกลไกของตลาด ดังนั้นความเสี่ยงของราคาวัสดุที่สูงขึ้นจะถูกจัดไปอยู่ที่กลุ่มความเสี่ยงทางตลาด เป็นต้น

ข. จำแนกตามผลที่เกิดขึ้น (Consequence of risk)

เป็นการจำแนกความเสี่ยงโดยการคำนึงถึงโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงนั้น ๆ ซึ่งความรุนแรงของผลกระทบจากความเสี่ยงที่เกิดขึ้นทำได้โดยเมื่อเกิดการระบุความเสี่ยงแล้วทำได้โดยวิธีการวิเคราะห์ความเสี่ยงซึ่งสามารถทำได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค. จำแนกตามระดับของผลกระทบจากความเสี่ยง (Impact of risk)

การจำแนกความเสี่ยงประเภทนี้เป็นการจำแนกโดยใช้ผู้ได้รับผลกระทบเป็นเกณฑ์ โดย Flanagan ได้ระบุระดับของผลกระทบไว้ 4 ระดับ คือ (1) ผลกระทบต่อโครงการ (2) ผลกระทบต่อองค์กร (3) ผลกระทบต่อตลาด หรือ อุตสาหกรรม และ (4) ผลกระทบโดยรวม

3) การประเมินความเสี่ยง (Risk evaluation)

ในขั้นตอนนี้ คือการนำความเสี่ยงที่ได้ทำการระบุไว้จากขั้นตอนแรกมาทำการประเมินและวิเคราะห์เพื่อนำมาใช้ในการสำหรับการประเมินและจัดการกับความเสี่ยงนั้น ๆ ต่อไป ซึ่งการวิเคราะห์ความเสี่ยงสามารถทำได้ 2 รูปแบบ คือ (1) การประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ และ (2) การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ (Smith et al., 2014)

ก. การประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ

การประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ เป็นการประเมินความเสี่ยงที่ผู้จัดทำไม่มีข้อมูลเพียงพอสำหรับการประเมิณความเสี่ยงเชิงปริมาณ ดังนั้นจึงต้องมีจัดทำการประเมินความเสี่ยงในเชิงคุณภาพซึ่งจะช่วยทำให้ผู้ที่มีอำนาจของโครงการรับทราบถึงความเป็นได้และความรุนแรงของความเสี่ยงรวมไปถึงความเกี่ยวโยงกันระหว่างรายการความเสี่ยงที่โครงการอาจจะต้องประสพ เพื่อช่วยในการวางกลยุทธ์ในบริหารจัดการความเสี่ยง

โดยทั่วไปแล้วการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณจะประกอบด้วย

- คำอธิบายของรายการเสี่ยง
- การประเมินว่าช่วงใดของการก่อสร้างที่ความเสี่ยงนั้นจะเกิดขึ้น
- ความเสี่ยงนั้นส่งผลต่อส่วนใดหรือกิจกรรมใดของโครงการ
- ปัจจัยที่ส่งผลให้ความเสี่ยงนั้นเกิดขึ้น
- ความเชื่อมโยงระหว่างรายการความเสี่ยง
- ความเป็นไปได้ที่ความเสี่ยงนั้นจะเกิดขึ้น
- ความเสี่ยงนั้นส่งผลกระทบต่อโครงการอย่างไร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข. การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ

การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ จะทำได้ก็ต่อเมื่อผู้จัดทำมีข้อมูลเพียงพอ ซึ่งการประเมินความเสี่ยงประเภทนี้จะทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องรับทราบถึงโอกาสที่ความที่ความเสี่ยงนั้นจะเกิดขึ้น รวมไปถึงรับทราบผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในเชิงปริมาณที่สามารถวัดได้ เช่น การทราบจำนวนต้นทุนที่มากขึ้นของโครงการ ทราบถึงระยะเวลาที่ต้องใช้เพิ่มขึ้นเพื่อให้โครงการแล้วเสร็จ

4) การตอบสนองต่อความเสี่ยง (Risk response)

หลังจากทำการประเมินและวิเคราะห์ความเสี่ยงจนเห็นถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น ต่อมาคือขั้นตอนการตอบสนองต่อความเสี่ยง ในขั้นตอนนี้ผู้บริหารโครงการจำเป็นที่จะต้องตัดสินใจว่าจะตอบสนองต่อความเสี่ยงเหล่านั้นอย่างไร จากการศึกษาเอกสารของ (Flanagan, 1993) พบว่าการตอบสนองต่อความเสี่ยงจะมี 4 มาตรการ คือ (1) การยอมรับความเสี่ยง (2) การลดความเสี่ยง (3) การถ่ายโอนความเสี่ยง และ (4) การหลีกเลี่ยงความเสี่ยง ซึ่งการที่จะเลือกมาตรการตอบสนองต่อความเสี่ยงในรูปแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับวิจารณญาณของผู้มีที่อำนาจในการตัดสินใจ

Bing et al. (2005) ได้ระบุว่าการยอมรับความเสี่ยงมีแนวโน้มที่จะเป็นมาตรการสุดท้ายที่ถูกเลือกใช้หากพิจารณาแล้วว่ามาตรการอื่น ๆ ไม่สามารถนำมาใช้ได้ การลดความเสี่ยงอาจทำได้โดยใช้การลงทุนหรือเพิ่มทรัพยากรนอกจากนี้อาจใช้เครื่องมืออื่น ๆ เช่น เอกสารสัญญา การหลีกเลี่ยงความเสี่ยงอาจเป็นไปไม่ได้ เนื่องจากการหลีกเลี่ยงความเสี่ยงอาจเป็นผลให้โครงการไม่มีความคืบหน้าเนื่องจากต้องระงับกิจกรรมบางกิจกรรมที่มีความเสี่ยง และสุดท้ายการถ่ายโอนความเสี่ยงจึงเป็นมาตรการที่ถูกนำมาใช้ เพื่อโอนความเสี่ยงให้กับฝ่ายที่สามารถรับมือกับความเสี่ยงนั้น ๆ ซึ่งในการก่อสร้างค่อนข้างนิยมถ่ายโอนความเสี่ยงโดยการใช้ผู้รับเหมารองและการซื้อประกันภัย การบริหารความเสี่ยงในการก่อสร้างทำเพื่อการควบคุมปัญหาการใช้เวลามากเกินจำเป็น และเพื่อควบคุมการใช้งบประมาณไม่ให้เกินกว่าที่ประมาณการ จากที่กล่าวมาจะพบว่าในแต่ละขั้นตอนจำเป็นจะต้องใช้เครื่องมือและวิธีการต่าง ๆ เพื่อช่วยในวิเคราะห์ความเสี่ยงและการตัดสินใจ

ส่วนของวิทยานิพนธ์ฉบับจะมุ่งเน้นไปที่การนำวิธีการทางวิศวกรรมการก่อสร้างมาใช้ในขั้นตอนประเมินความเสี่ยงของความล่าช้า (Completion risk) ในช่วงระหว่างการก่อสร้าง ซึ่งจะช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการเห็นแนวโน้มที่โครงการจะไม่แล้วเสร็จตามเวลาและสามารถนำไปวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นเพื่อช่วยผู้เกี่ยวข้องได้เตรียมตัวหรือวางกลยุทธ์ต่อไป ซึ่งแนวทางในการวางแผนและคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**2.4 การวางแผนและคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้าง**

สำหรับการก่อสร้างไม่ว่าจะเป็นโครงการขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่นั้นมีระยะเวลาการก่อสร้างที่จำกัด เพราะฉะนั้นการวางแผนการก่อสร้างนั้นถือเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้การคาดการณ์ระยะเวลาการก่อสร้างเป็นไปอย่างถูกต้องแม่นยำและเชื่อถือได้ผู้บริหารโครงการจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาเครื่องมือในการวางแผนโครงการที่เหมาะสม ทั้งนี้วิธีการวางแผนการก่อสร้างสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ (1) การวางแผนที่โครงการมีระยะเวลาแน่นอน (Deterministic project scheduling) และ (2) การวางแผนโครงการที่เกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอน (Probabilistic project scheduling) ซึ่งการวางแผนการก่อสร้างในประเภทที่ 2 นั้นพัฒนามาจากประเภทแรก ซึ่งในส่วนต่อจากนี้จะกล่าวถึงเทคนิคในการวางแผนการก่อสร้างที่ใช้เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของระยะเวลาโครงการโดยแบ่งตามประเภทหลักดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

1) การวางแผนที่โครงการที่กิจกรรมมีระยะเวลาที่แน่นอน (Deterministic project scheduling)

ก. Gantt Chart

Gantt Chart ถูกคิดค้นขึ้นโดย Henry L. Gantt ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อวางแผนการผลิตภายในโรงงาน แต่ภายหลังได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานก่อสร้าง Gantt chart มีลักษณะเป็นเป็นแท่งหรือเส้นซึ่งจุดเริ่มต้นของเส้นคือเวลาที่เริ่มกิจกรรม และจุดปลายของเส้นคือเวลาสิ้นสุดกิจกรรม โดยสามารถดูตัวอย่างของ Gantt chart ได้ในภาพที่ 2.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| Duration | month | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| activity | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| A | X | | | | | |
| B | X | | | | | |
| C | | X | | | | |
| D | | X | | | | |
| E | | X | X | | | |
| F | | X | X | | | |
| G | | | | X | X | |
| H | | | | X | X | |
| I | | | | X | | |
| J | | | | X | | |
| K | | | | | | X |
| L | | | | | | X |

*ภาพที่ 2.1 ตัวอย่าง Gantt chart*

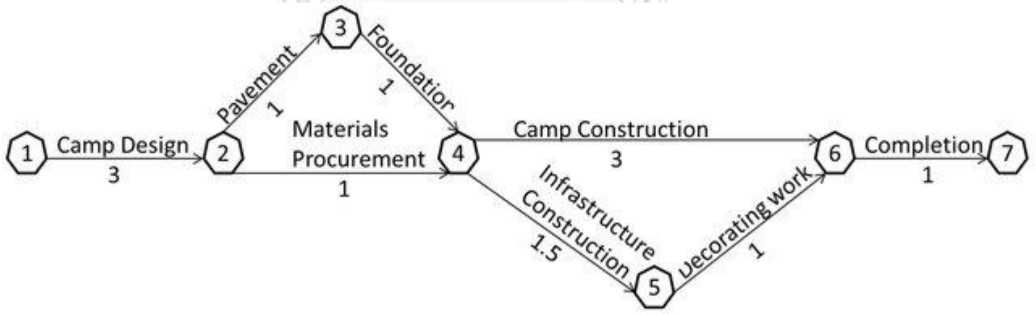
จะเห็นได้ว่า Gantt chart สามารถบ่งบอกถึงลำดับของการทำงาน ระยะเวลาที่ต้องใช้ในแต่ละกิจกรรม และกิจกรรมใดบ้างที่สามารถทำไปพร้อม ๆ กันได้ จากข้อดีและความสะดวกในการใช้งานทำให้ในปัจจุบัน Gantt chart เป็นที่นิยมในการใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนโครงการก่อสร้างไม่ว่าจะเป็นโครงการขนาดใดก็ตาม

ข. Critical Path Method (CPM)

Critical Path Method มีลักษณะเป็นโครงข่ายของกิจกรรมที่เชื่อมต่อกัน มีประโยชน์ในการคำนวนและระบุกิจกรรมที่มีผลโดยตรงต่อระยะเวลาทั้งหมดของโครงการหรือที่เรียกว่า กิจกรรมวิกฤต Critical activities และยังช่วยให้ผู้บริหารโครงการสามารถรับรู้ได้ถึงกิจกรรมที่สามารถยืดหยุ่นระยะเวลาการทำงานได้ รูปแบบที่นิยมใช้สำหรับ CPM มี 2 วิธี คือ (1) Arrow Network Diagram และ (2) Precedence Method

(1) Arrow Network Diagram หรือ Activity on Arrow Diagram

Arrow Network Diagram มีลักษณะเป็นแผนภาพที่ประกอบไปด้วย Node ซึ่งเป็นตัวแทนของเหตุการณ์ (Event) ที่เป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของกิจกรรม และลูกศรเป็นตัวแทนของกิจกรรม (Activity) และระยะเวลาของกิจกรรมนั้น ๆ (Activity duration) ดังภาพที่ 2.2

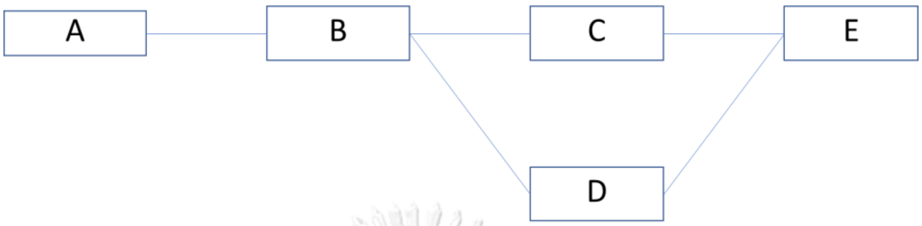



*ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างของ Arrow Network Diagram (ที่มา: Song et al., 2015)*

(2) Precedence Diagram หรือ Activity on Node Diagram

Precedence diagram เป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นจาก Arrow Network Diagram และเป็นที่นิยมใช้สำหรับการกำหนดระยะเวลาในการก่อสร้างโครงการในปัจจุบัน โดยที่ Precedence Method มุ่งเน้นไปที่กิจกรรมต่าง ๆ ในการก่อสร้าง โดยที่วิธีการนี้จะมี Node ซึ่งเป็นตัวแทนของกิจกรรม (Activity) และระยะเวลาของกิจกรรม (Activity duration) แต่จะเห็นว่า

Precedence diagram มีความซับซ้อนของแผนภาพที่น้อยกว่าของ Arrow Network Diagram และยังง่ายต่อการคำนวนระยะเวลาของโครงการอีกด้วย ซึ่งตัวอย่างของ Precedence diagram พบได้ในภาพที่ 2.3




*ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างของ Arrow Network Diagram*

2) การวางแผนโครงการที่เกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอนของระยะเวลาก่อสร้าง (Probabilistic project scheduling)

เมื่อพิจารณาถึงการก่อสร้างในสถานการณ์จริงจะมีตัวแปรเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ทำให้ระยะเวลาของแต่ละกิจกรรมมีความไม่แน่นอน โดยอาจทำให้กิจกรรมสำเร็จเร็วหรือช้ากว่าที่คาดการณ์ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเครื่องมือสำหรับวางแผนโครงการที่คำนึงถึงความไม่แน่นอนของระยะเวลากิจกรรม ซึ่งประกอบด้วยเครื่องมือดังต่อไปนี้

ก. Project Evaluation and Review Technique (PERT)

PERT ถูกคิดค้นในปี ค.ศ. 1958 โดยหน่วยนาวิกโยธินสหรัฐ ถูกใช้เป็นหนึ่งในเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ระยะเวลาในการก่อสร้าง ซึ่งจะมีข้อแตกต่างจากเครื่องมือที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ คือ PERT การคาดการณ์ระยะเวลาโครงการจะพิจารณาถึงความไม่แน่นอนของระยะเวลากิจกรรมด้วย (Kerzner, 2001) ทำให้ผู้บริหารโครงการสามารถที่จะคาดการณ์ระยะเวลาการก่อสร้างได้แม่นยำมากขึ้น ซึ่งจุดประสงค์ของการใช้ PERT คือเพื่อให้ผู้บริหารโครงการสามารถหาระยะเวลาในการส่งมอบโครงการที่เป็นไปได้ทั้งหมดเพื่อใช้ไปประกอบการตัดสินใจและช่วยในการบริหารโครงการได้

โดยส่วนประกอบของ PERT นั้นมีความคล้ายคลึงกับ CPM บางประการ นั่นคือการใช้ PERT ต้องสร้างโครงข่ายของกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ระยะเวลา

โครงการ ทั้งนี้ความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่าง PERT และ CPM คือ ระยะเวลากิจกรรมของ PERT ประกอบไปด้วยข้อมูลด้านเวลา 3 รูปแบบ คือ

1. Optimistic duration (o) คือ ระยะเวลาที่สั้นที่สุดที่ใช้เพื่อทำกิจกรรม

2. Most-likely duration (m) คือ ระยะเวลากิจกรรมที่มีโอกาสเป็นไปได้มากที่สุด

3. Pessimistic duration (p) คือ ระยะเวลาที่มากที่สุดที่ใช้สำหรับทำกิจกรรม

สำหรับการคำนวนหาระยะเวลาเฉลี่ยของแต่ละกิจกรรม ความแปรปรวนของระยะเวลาในกิจกรรม ระยะเวลาโครงการเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาโครงการได้ดังสมการต่อไปนี้

1. ระยะเวลาเฉลี่ยของแต่ละกิจกรรม

$$T_e = \frac{T_o + 4T_m + T_p}{6} \tag{2.1}$$

2. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาในกิจกรรม

$$\sigma = \frac{T_p - T_o}{6} \tag{2.2}$$

3. ระยะเวลาโครงการเฉลี่ย

$$T_{project} = \sum T_e \text{ on critical path} \tag{2.3}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาโครงการ

$$\sigma_{project} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \sigma_i^2} \;, i \in \text{เซตของกิจกรรมวิกฤต} \tag{2.4}$$

จากการศึกษางานวิจัยของ Hegazy (2013) พบว่าการวางแผนการก่อสร้างด้วย PERT ยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น (1) วิธี PERT ใช้สมมติฐานว่ากิจกรรมแต่ละกิจกรรมเป็นอิสระต่อกัน หมายความว่า แต่ละกิจกรรมจะไม่มีความสัมพันธ์ใด ๆ กับกิจกรรมอื่น นอกจากความสัมพันธ์ทางลำดับขั้นของกิจกรรมนั้น ๆ (2) การคาดการณ์ระยะเวลาด้วยวิธี PERT สนใจเฉพาะเส้นทาง (Path) ที่เป็น Critical path เท่านั้น ส่วนกิจกรรมอื่น ๆ ที่มีระยะเวลาเข้าใกล้ Critical path จะไม่ถูกนำมาพิจารณา และ (3) การวิเคราะห์แบบ PERT เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติของระยะเวลาของแต่ละกิจกรรมแล้ว จะสมมติว่าทุกกิจกรรมจะมีรูปแบบของระยะเวลาเป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง

ดังนั้นกิจกรรมบางกิจกรรมที่มีการแจกแจงความน่าเป็นของระยะเวลากิจกรรมแบบไม่ต่อเนื่องอาจทำให้ผลการคาดการณ์ไม่ถูกต้อง (Kokkaew and Chiara, 2010)

2. Stochastic Critical Path Method (SCPM)

เป็นการประยุกต์มาจาก CPM โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Monte Carlo simulation เข้ามาเพื่อใช้ในการจำลองความเป็นได้ของระยะเวลาทีเป็นไปได้ของโครงการ Monte Carlo simulation คือเครื่องมือสำหรับจำลองผลการทดสอบโดยจะเป็นสุ่มค่าของตัวแปรต่าง ๆ ของฟังก์ชันในแบบจำลองเป็นจำนวนหลายครั้งเพื่อแสดงผลที่เป็นไปได้ทั้งหมดของแบบจำลองนั้น ๆ ในปัจจุบัน Monte Carlo Simulation ถูกนำมาใช้ในศาสตร์หลายแขนงเช่น การลงทุน การวิเคราะห์ความเสี่ยง ไม่เว้นแม้แต่อุตสาหกรรมการก่อสร้างที่มีการนำมาใช้เพื่อช่วยในการหาระยะเวลาในการก่อสร้างโครงการอีกด้วย

SCPM ต้องมีการสร้างโครงข่ายกิจกรรมขึ้นเช่นเดียวกับวิธี CPM แต่ในส่วนของระยะเวลากิจกรรมจะถูกแทนที่ด้วยตัวแปรสุ่ม ซึ่งนิยมใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสามเหลี่ยม (Triangular Distribution) หรือ Beta-PERT distribution สาเหตุที่การแจกแจงดังกล่าวเป็นที่นิยมเนื่องจากว่าการแจกแจงดังกล่าวจะมีค่าพารามิเตอร์ที่มีตำแหน่งแน่นอน สำหรับค่าพารามีเตอร์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ระยะเวลากิจกรรมประกอบด้วย

1. Optimistic scenario (a) คือระยะเวลาที่สั้นที่สุดที่กิจกรรมจะสำเร็จ

2. Most-likely scenario (m) คือระยะเวลากิจกรรมที่มีโอกาสเป็นไปได้มากที่สุด

3. Pessimistic scenario (b) คือระยะเวลาที่มากที่สุดที่ใช้สำหรับทำกิจกรรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีงานวิจัยหลากหลายชิ้นที่นำวิธีการ SCPM มาใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของระยะเวลาในการก่อสร้าง ทั้งนี้ข้อแตกต่างของ SCPM จาก PERT คือการคำนวณระยะเวลาโครงการด้วยวิธี SCPM นั้นจะไม่ละเลยกิจกรรมใด ๆ เลยถึงแม้ว่ากิจกรรมนั้นจะไม่อยู่บน Critical Path ก็ตาม หมายความว่ากิจกรรมใด ๆ มีโอกาสที่จะเป็นกิจกรรมบนเส้นทางวิกฤต (Critical activity) ได้ทั้งหมด

3. Stochastic Critical Path with Envelope Method (SCPM-EM)

อย่างไรก็ตามวิธี SCPM ยังมีข้อจำกัดคือเมื่อพิจารณาถึงสภาพการทำงานจริง ระยะเวลาของแต่ละกิจกรรมจะส่งผลซึ่งกันและกัน นอกจากนี้ผู้จัดการโครงการยังมีบทบาทในควบคุมการบริหารโครงการทำให้ระยะเวลาของกิจกรรมถัดไปอาจลดลง หรือมากขึ้นกว่าเดิมตามการตัดสินใจของ

ผู้บริหารโครงการ ดังนั้น Kokkaew and Chiara (2010) จึงได้นำเสนอวิธีการที่เรียกว่า Stochastic Critical Path Method with Envelope Method เพื่อช่วยแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว

การใช้ Envelope Method จะคำนึงถึงพฤติกรรมในการบริหารโครงการ ตัวอย่างเช่นหากระยะเวลาที่ใช้ในกิจกรรมปัจจุบันมากเกินกว่าที่คาดการณ์ไว้ ในกิจกรรมถัดไปผู้บริหารโครงการอาจเร่งกิจกรรมถัดไปให้เร็วขึ้น ซึ่งวิธี SCPM ไม่ได้คำนึงถึงเงื่อนไขนี้ ทำให้การคาดการณ์ระยะเวลาของโครงการไม่แม่นยำเท่าที่ควร ดังนั้น Envelope Method จึงเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมที่มีความเกี่ยวพันและมีการคำนึงถึงพฤติกรรมในการบริหารโครงการ (Vose, 2008)

Kokkaew and Chiara (2010) ได้ทำการประยุกต์ Envelope Method เข้ากับวิธี Stochastic Critical Path method เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่จะเกิดความล่าช้าสำหรับโครงการก่อสร้างทางหลวง โดยได้ทำการสัมภาษณ์ข้อมูลความสัมพันธ์ของระยะเวลาก่อสร้างของแต่ละกิจกรรม แล้วทำการทดสอบหาระยะเวลาของโครงการที่ได้จากวิธี SCPM-EM และเปรียบเทียบกับวิธี SCPM พบว่าวิธีการ SCPM-EM มีความถูกต้องที่มากกว่าวิธี SCPM เพราะมีการนำความสัมพันธ์ของระยะเวลากิจกรรมที่เกิดขึ้นจากการบริหารโครงการมาใช้อีกด้วย

อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวข้างต้น มักถูกใช้สำหรับการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างในช่วงก่อนที่โครงการจะเริ่มต้นหรือใช้สำหรับติดตามผลการทำงานเท่านั้น ดังนั้นการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างในช่วงระหว่างการก่อสร้างจำเป็นต้องใช้วิธีการอื่น ๆ มาประยุกต์ใช้กับวิธีการที่ได้กล่าวไว้ ซึ่งวิธีที่นิยมใช้สำหรับคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างในช่วงระหว่างการก่อสร้างคือ Earned Value Management และ Earned Schedule ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

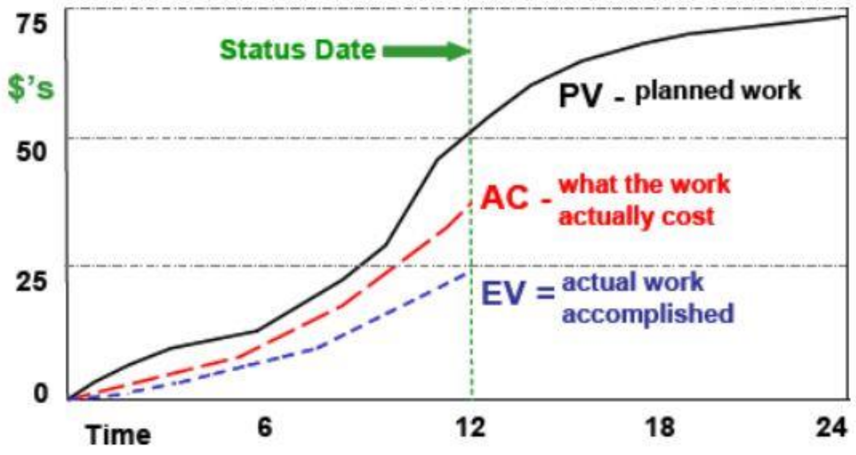
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## 2.5 การติดตามความคืบหน้าในการก่อสร้างด้วยวิธี Earned Value Management (EVM) และ Earned Schedule

### 2.5.1 Earned Value Management (EVM)

Earned Value Management คือ วิธีการที่ใช้สำหรับการติดตามความคืบหน้าของโครงการ ซึ่งช่วยให้ผู้บริหารโครงการสามารถวิเคราะห์และประเมินความคืบหน้าในการก่อสร้างโครงการได้เป็นอย่างดี ซึ่งวิธีการนี้ได้รับการเผยแพร่โดย Project Management Institute (PMI) (Committee, 2004)

Earned Value Management องค์ประกอบหลักทั้งหมด 3 ค่า คือ (1) Planned Value หรือ PV (2) Earned Value หรือ EV และ (3) Actual Cost หรือ AC ดังภาพที่ 2.4




*ภาพที่ 2.4 ภาพตัวอย่างการใช้ Earned Value Management*

*(ที่มา: Lukas, 2012)*

จากภาพที่ 2.4 องค์ประกอบทั้ง 3 มีรายละเอียดดังต่อนี้

1. Planned Value (PV) เป็นดัชนีที่เป็นตัวชี้วัดสำหรับผลของงานที่วางแผน หรือที่คาดหวัง

2. Earned Value (EV) เป็นดัชนีที่เป็นตัวชี้วัดสำหรับงานที่ทำได้ ณ เวลาที่ติดตามเป็นเท่าไหร่

3. Actual Cost (AC) คือ มูลค่าจริงที่ใช้เพื่อให้ได้มาซึ่ง Earned Value เช่น หากกล่าวถึงงบประมาณก็คือจำนวนเงินที่ใช้จริงสำหรับกิจกรรมนั้น ๆ หรือหากกล่าวถึงเวลาก็คือเวลาที่ใช้จริงสำหรับกิจกรรมนั้น ๆ

เมื่อได้ค่าของดัชนีที่เป็นส่วนประกอบหลักทั้ง 3 ค่าแล้ว จะสามารถนำไปหาค่าดัชนีอื่น ๆ เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ของประสิทธิภาพของการดำเนินโครงการได้ ซึ่งค่าดัชนีอื่น ๆ ที่สำคัญมีดังนี้

1. Schedule Performance Index (SPI) หมายถึง ค่าดัชนีวัดสถานะของระยะเวลาการทำงาน มีสมการดังนี้

$$SPI = EV / PV \quad (2.5)$$

2. Cost Variance (CV) หมายถึง ค่าความต่างของต้นทุน มีสมการดังนี้

$$CV = EV - AC \quad (2.6)$$

3. Cost Performance Index (CPI) หมายถึง ค่าดัชนีวัดประสิทธิภาพการใช้งบประมาณ มีสมการดังนี้

$$CPI = EV / AC \tag{2.7}$$

4. Schedule Variance (SV) หมายถึง ค่าความต่างของงานตามแผนเมื่อเทียบกับงานที่ทำได้ มีสมการดังนี้

$$SV = EV - PV \tag{2.8}$$

จากดัชนีดังกล่าว จะเห็นได้ว่าการใช้ EVM จะช่วยให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรเวลาและงบประมาณในโครงการได้ แต่จากการศึกษาเอกสารของ Fleming and Koppelman (2006) ได้ระบุว่าจุดมุ่งหมายสูงสุดอีกอย่างหนึ่งนอกจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการดำเนินงานแล้ว คือการที่ EVM สามารถส่งสัญญาณเตือนถึงความล่าช้าในการก่อสร้างและการใช้งบประมาณเกินอีกด้วย

อย่างไรก็ตามการใช้ EVM กลับไม่ได้ช่วยให้ผู้ใช้ทราบถึงระยะเวลาที่คาดว่าโครงการจะแล้วเสร็จ ดังนั้นทำให้นักวิจัยบางท่านทำการปรับปรุงวิธี EVM ที่มุ่งเน้นไปที่มิติของการใช้ทรัพยากรด้านการเงิน ให้กลายเป็นวิธีที่เรียกว่า Earned Schedule ซึ่งมุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรทางด้านเวลา โดยนำข้อมูลที่ได้จากวิธี EVM มาใช้ประกอบการคำนวณ (Anbari, 2003; Lipke, 2009; Vanhoucke, 2012)

Chulalongkorn University

**2.5.2 Earned Schedule**

จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่า Earned Schedule เป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้สำหรับคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างได้โดยใช้ข้อมูลเดียวกันกับวิธี EVM ดังนั้นในส่วนนี้จะขออธิบายถึงส่วนประกอบที่สำคัญของ Earned Schedule ซึ่งมีดังนี้

1. Schedule at Completion (SAC) คือ จำนวนวันที่โครงการจะแล้วเสร็จตามกำหนดการณ์

2. Earned Schedule (ES) คือ ค่าดัชนีที่ชี้ว่าปริมาณงานที่ทำได้ไปมีค่าเทียบเท่ากับดัชนี EV ณ วันที่เท่าไหร่

$$ES = EV / PAR \tag{2.9}$$

$$ES = c + [EV-PV(c)] / [PV(c+1)-PV(c)] \quad (2.10)$$

โดยที่ c คือ ช่วงระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นโครงการจนถึงระยะเวลาที่ EV≥PV (ดูภาพที่ 2.5 เปรียบเทียบเพื่อประกอบความเข้าใจ)

3. Actual Time (AT) คือ จำนวนวันที่ผ่านมานับตั้งแต่เริ่มโครงการจนถึงวันที่ทำการรายงานผลความคืบหน้า

4. Budget at Completion (BAC) คือ งบประมาณที่ต้องใช้เพื่อทำให้โครงการสำเร็จตามแผน

5. Planned Accomplishment Rate (PAR) คือ อัตราส่วนระหว่าง Budget at Completion และ Schedule at Completion

$$PAR = BAC / SAC \quad (2.11)$$

6. Time Variance (TV) คือ ความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้จริง (AT) และระยะเวลาที่ควรใช้ตามกำหนดการณ์ (ES)

$$TV = ES – AT \quad (2.12)$$

$$TV = SV / PAR \quad (2.13)$$

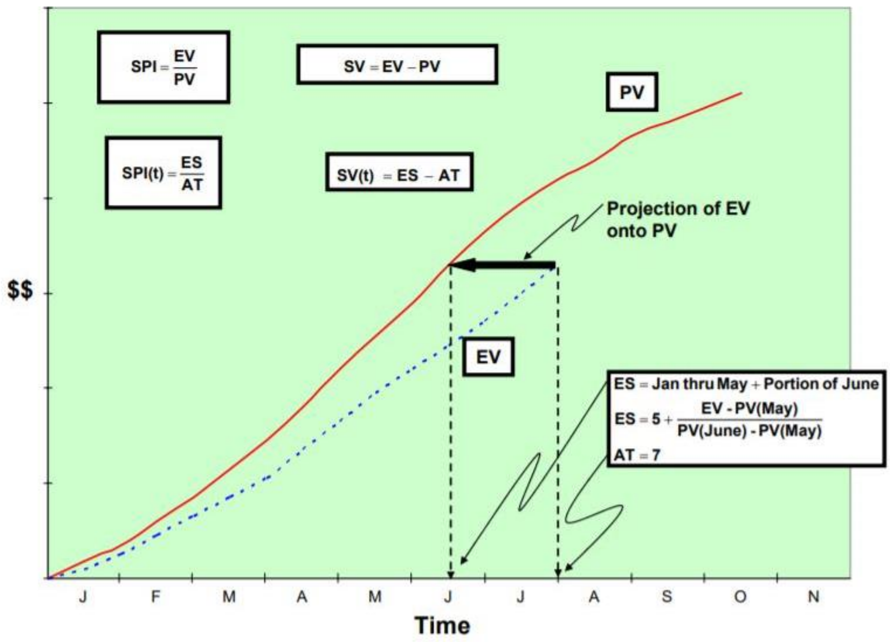
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. Time Performance Index (TPI) คือ ดัชนีสำหรับบ่งบอกประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรเวลา โดยมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่าง Earned Schedule และ Actual Time

$$TPI = ES / AT \quad (2.14)$$

8. Estimate Duration at Completion (EDAC) คือ ระยะเวลาที่โครงการณ์ที่คาดว่าจะแล้วเสร็จเมื่อวัดจากผลการดำเนินงาน ณ ปัจจุบัน

$$EDAC = SAC / TPI \quad (2.15)$$




*ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างการใช้งานวิธี Earned Schedule*

*(ที่มา: Lipke and Henderson, 2006)*

จากส่วนประกอบต่าง ๆ ดังกล่าวจะเห็นว่าการคำนวนด้วยวิธี Earned Schedule จะเน้นไปที่ประสิทธิภาพในการจัดการทรัพยากรด้านเวลา แต่สิ่งที่ทำให้ ES โดดเด่นนั่นคือการที่ ES สามารถคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างได้ ด้วยความสามารถในการคาดการณ์ระยะเวลาทำให้มีผู้สนใจที่จะนำไปประยุกต์กับวิธีการทางสถิติเพื่อใช้สำหรับการคาดการณ์ระยะเวลาโครงการที่เป็นไปได้ทั้งหมดในช่วงระหว่างการก่อสร้าง โดยวิธีการทางสถิติที่กล่าวถึง คือการอนุมานแบบเบย์ หรือ Bayesian Inference ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

## 2.6 การอนุมานแบบเบย์ (Bayesian Inference) ในงานวิศวกรรมโยธา

การอนุมานแบบเบย์เป็นเครื่องมือทางสถิติที่มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบเบย์ ซึ่งมีประโยชน์ในการพยากรณ์เหตุการณ์ในอนาคตจากข้อมูลที่มี การอนุมานแบบเบย์นั้นสามารถใช้ได้กับงานหลากหลายประเภท เช่นจะเป็นการพยากรณ์พฤติกรรมของการซื้อ-ขายในตลาดหุ้น ไปจนถึงการวิเคราะห์จำนวนผู้ติดเชื้อไวรัส จะเห็นได้ว่าการอนุมานแบบเบย์สามารถใช้งานได้กับกิจกรรมทางการลงทุน หรือ การใช้งานในการวิเคราะห์ทางการแพทย์ ทั้งนี้จากความยืดหยุ่นในการใช้งานของการอนุมานแบบเบย์ทำให้มีผู้ที่มีแนวคิดที่จะนำการอนุมานทางสถิติแบบเบย์เข้ามาประยุกต์ใช้กับงานทางวิศวกรรมโยธาอีกด้วย

ส่วนประกอบสำคัญที่จำเป็นสำหรับการอนุมานแบบเบย์มี 2 ส่วน ซึ่งประกอบด้วย (1) เซ็ตของพารามิเตอร์ที่สนใจ ($\Theta$) และ (2) ข้อมูลที่ทำการเก็บรวบรวมได้ (D) ซึ่งข้อมูลทั้ง 2 ส่วนจะถูกนำมาใช้ในสมการต่อไปนี้

$$P(\Theta \mid D) = \frac{P(D \mid \Theta)P(\Theta)}{P(D)} \qquad (2.16)$$

จากสมการดังกล่าว สามารถอธิบายตัวแปรแต่ละตัวได้ดังนี้

1. $P(\Theta)$ เรียกว่า Prior distribution หรือ Prior belief ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนการกระจายของพารามิเตอร์ก่อนที่จะมีการเก็บข้อมูล

2. $P(D \mid \Theta)$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดข้อมูล D ได้เมื่อพารามิเตอร์ ($\Theta$) เกิดขึ้นแล้ว

3. $P(D)$ คือ ความน่าจะเป็นที่ข้อมูล (D) จะเกิดขึ้น

4. $P(\Theta \mid D)$ เรียกว่า Posterior distribution หรือ Posterior belief ของพารามิตอร์ ($\Theta$) เนื่องจากการเก็บข้อมูล (D)

การประยุกต์ใช้การอนุมานแบบเบย์กับงานวิจัยทางวิศวกรรมโยธามักจะพบในส่วนของงานวิจัยด้านวิศวกรรมโครงสร้างเป็นส่วนมาก สำหรับการประยุกต์ใช้กับการบริหารโครงการก่อสร้างพบว่างานวิจัยของ Kim and Reinschmidt (2009) ที่ได้ทำการใช้การอนุมานแบบเบย์ร่วมกับวิธี Earned Schedule ได้เป็นวิธีการที่เรียกว่า Bayesian Adaptive Forecast Method (BAFM) เพื่อใช้สำหรับคาดการณ์ระยะเวลาที่การก่อสร้างก่อสร้างโครงการจะแล้วเสร็จที่ระยะความคืบหน้าต่าง ๆ และเพื่อที่จะสร้างสัญญาณเตือนถึงความเสี่ยงที่โครงการจะล่าช้า (Early warning) ซึ่งจากการวิจัยพบว่าการประยุกต์การอนุมานแบบเบย์ให้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างมีความแม่นยำสำหรับการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้าง

ผลงานของ Kim and Reinschmidth (2010) ทำให้เห็นว่า Bayesian Adaptive Forecast Method (BAFM) เป็นหนึ่งในวิธีการที่น่าสนใจที่จะนำมาต่อยอดเพื่อใช้สำหรับการคาดการณ์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการอันเนื่องจากมาจากระยะเวลาก่อสร้าง โดยจะใช้ระยะการคาดการณ์ระยะเวลาเนื่องจากการใช้งาน BAFM จะทำให้ผู้ใช้งานสามารถคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างในระหว่างที่ทำการก่อสร้างได้

จากการศึกษาเอกสารของ Kim and Reinschmidth (2009) เพิ่มเติมพบว่าวิธีการ BAFM เป็นเครื่องมือที่ต้องอาศัยความรู้หลากหลายแขนงเพื่อใช้งานวิธีดังกล่าว ซึ่งก่อนที่จะกล่าวถึงวิธีในการใช้งาน ผู้ใช้งานจำเป็นต้องทราบถึง BetaS-curve Function ก่อน

BetaS-curve function เป็น S-curve ที่สร้างขึ้นมาจากสมการของการกระจายแบบเบต้า (Beta distribution) โดย Touran et al. (2004) กล่าวว่าสาเหตุที่ใช้การกระจายแบบเบต้าเพราะว่าการกระจายดังกล่าวมีความสามารถสามารถสร้างรูปแบบของเส้นโค้งได้หลากหลายรูปแบบโดยใช้พารามีเตอร์ 2 ตัว ในทางสถิติการกระจายแบบเบต้าจะเป็นการกระจายแบบต่อเนื่อง (Continuous probability distribution หรือ (PDF)) ซึ่งฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability density function) ของการกระจายแบบเบต้าจะถูกกำหนดให้อยู่ในช่วงระหว่างค่า A และ B และจะมีรูปร่างของการกระจายที่ถูกกำหนดโดย พารามีเตอร์ของรูปร่าง (Shape parameter) $\alpha$ และ $\beta$ ดังนั้น PDF ของการกระจายแบบเบต้าของตัวแปรสุ่ม X มีค่าเท่ากับ

$$f(x;\alpha,\beta)=\frac{1}{B(\alpha,\beta)}\frac{(x-A)^{\alpha-1}(\beta-x)^{\beta-1}}{(B-A)^{\alpha+\beta-1}} \tag{2.17}$$

ที่ซึ่ง $B(\alpha,\beta)$ เรียกว่าเบต้าฟังก์ชันและมีค่าเท่ากับ

$$B(\alpha,\beta)=\int_0^1 t^{\alpha-1}(1-t)^{\beta-1}dt \tag{2.18}$$

สำหรับฟังก์ชันการกระจายสะสม (Cumulative distribution function หรือ CDF) ของการกระจายแบบเบต้ามีค่าเท่ากับ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$F(x;\alpha,\beta)=B((x-A)/(B-A);\alpha,\beta)/B(\alpha,\beta) \tag{2.19}$$

$B((x-A)/(B-A);\alpha,\beta)$ เรียกว่า ฟังก์ชันเบต้าที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$B(s;\alpha,\beta)=\int_0^s t^{\alpha-1}(1-t)^{\beta-1}dt \tag{2.20}$$

ในส่วนของ BetaS-curve ซึ่งเป็นเส้นโค้งที่เราจะนำมาใช้ในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างจะเป็นฟังก์ชั่นเบต้าที่มีช่วงของเส้นโค้งอยู่ระหว่าง [0,T] โดยที่ T หมายถึงระยะเวลาก่อสร้างและ shape parameter ต้องมีค่า $\alpha \geq 1$ และ $\beta \geq 1$ เพื่อให้รูปร่างเส้นโค้งมีของฟังก์ชันลักษณะเป็น

S-curve นอกจากนี้ยังสิ่งที่เพิ่มเติมเข้ามาคือพารามีเตอร์ m ซึ่งเป็นตัวแทนของค่าฐานนิยมดังนั้น ฟังก์ชันของ BetaS-curve จะเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$\text{BetaS-curve}(x;\alpha,m,T) = B(x/T;\alpha,\beta)/B(\alpha,\beta) \tag{2.21}$$

โดยที่ $\alpha \geq 1$, 0 < $m$ <1, $T$ > 0 และ $\beta = (\alpha-1)/m-(\alpha-2)$

ในส่วนของขั้นตอนการใช้งานจะขออธิบายโดยสังเขป ดังนี้

1. ให้ผู้ใช้งานหาค่าการแจกแจงก่อนการปรับปรุง (Prior distribution) ของพารามีเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยพารามีเตอร์ $\alpha$ $m$ และ $T$

   สำหรับพารามีเตอร์ T สามารถหาได้จากการใช้เครื่องมือสำหรับการวางแผนโครงการเช่น PERT และ SCPM เป็นต้น ต่อมาสำหรับการหาพารามีเตอร์ $\alpha$ และ $m$ จะเป็นประเด็นที่ค่อนข้างซับซ้อน ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้เทคนิคที่เรียกว่า curve fitting หากผู้ใช้งานต้องการพารามีเตอร์ $\alpha$ และ $m$ สำหรับการประมาณค่าแบบจุดเดียว (single point estimate) สามารถทำได้โดยการใช้เทคนิค Curve fitting กับเส้นโค้งที่เรียกว่า baseline s-curve เพียงเส้นเดียว แต่ถ้าหากต้องการค่าการแจกแจงก่อนปรับปรุง (Prior distribution) ของพารามีเตอร์ $\alpha$ และ $m$ ก็สามารถทำได้โดยใช้เทคนิคที่มีชื่อว่า stochastic s-curve (Barraza et al. 2004) ซึ่งจะเป็นการจำลอง s-curve จำนวนหลายเส้นและทำการใช้ curve fitting กับเส้นโค้งที่ได้ทุกเส้นเพื่อหาการกระจายตัวของค่าพารามีเตอร์ $\alpha$ และ $m$

2. ทำการปรับปรุงค่า Prior distribution ด้วยข้อมูลความคืบหน้าโครงการ

   ในขั้นตอนนี้จะให้ผู้ใช้งานทำการเก็บข้อมูลความคืบหน้าของโครงการและทำการปรับปรุงค่า Prior distribution ด้วยการแทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการที่ 2.16 ซึ่งการได้มาของตัวแปรต่าง ๆ ในสมการดังกล่าวจำเป็นต้องใช้การอินทิเกรตเข้ามาช่วย

โดยสรุปแล้ว BAFM เป็นวิธีน่าสนใจ แต่ในขณะเดียวกันจะเห็นได้ว่าการใช้งานเครื่องมือดังกล่าวผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีความรู้หลายสาขา ประกอบด้วย

1. สถิติและความน่าจะเป็น (Statistic and Probability)
2. แคลคูลัส (Calculus)
3. การเขียนโปรแกรม (Coding) และการจำลองสถานการณ์ (Simulation)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. ความรู้ด้านการวางแผนและการควบคุมโครงการ (Project Management)

ด้วยสาเหตุดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่าวิธี BAFM จึงเป็นที่มีความซับซ้อนและไม่ค่อยมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานจริง อย่างไรก็ดีแนวคิดของ Kim and Reinschmidth (2009) ว่าด้วยวิธี BAFM ก็นับได้ว่าเป็นแนวคิดที่น่าสนใจสำหรับผู้ที่กำลังหาแนวคิดใหม่ ๆ สำหรับการบริหารโครงการ

**2.7 Kalman Filter หรือ ตัวกรองคาลแมน**

Kalman filter คือ วิธีการทางคณิตศาสตร์ มีไว้เพื่อใช้ในการประมาณค่าสถานะระบบที่ต้องการวัด Kalman filter ถูกได้ถูกคิดค้นขึ้นโดย R.E. Kalman ในช่วงปี ค.ศ. 1957 ถึง 1959 และแนวคิดนี้ได้รับการเผยแพร่ในวารสาร Journal of Basic Engineering ในปี ค.ศ. 1960 เหตุการณ์ที่ทำให้ Kalman filter เป็นที่รู้จักคือ ภารกิจสำรวจรวจดวงจันทร์ขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา หรือ NASA ซึ่งได้ใช้ Kalman filter ในการนำร่องวิถีของยาน Apollo 11 จนลงจอดบนดวงจันทร์ได้อย่างปลอดภัย ความสำเร็จดังกล่าวทำให้ Kalman filter เป็นวิธีคาดการณ์ที่นิยมใช้แวดวงวิศวกรรมหลายสาขา (Grewal and Andrews, 2010)

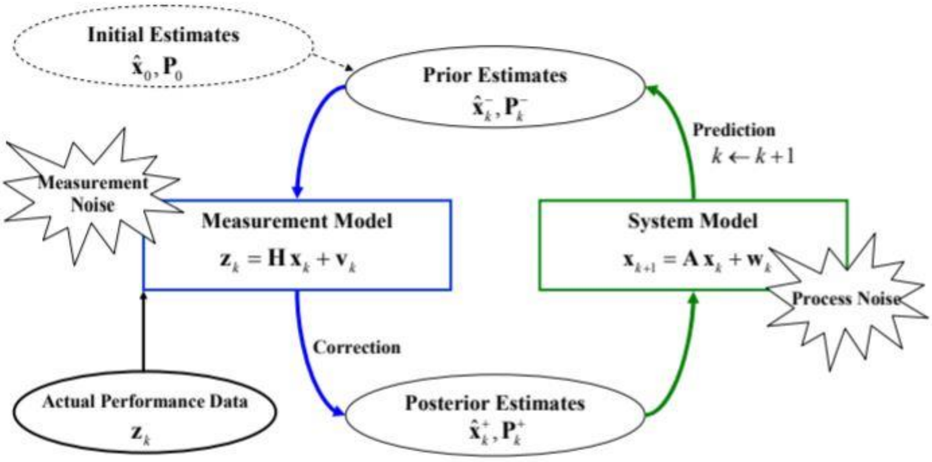
กฤษฎา แสงเพ็ชร์ส่อง (2547) กล่าวว่า แนวคิด Kalman filter เกิดขึ้นจากสมมติฐาน 3 ข้อประกอบด้วย

1. ไม่มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใดที่สมบูรณ์แบบ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังเช่น สมการความเร็วในการเคลื่อนที่ $v=s/t$ ซึ่งในความเป็นจริง การหาความเร็วในสถานะตอนนั้นยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องอีกมาก

2. ไม่มีเซ็นเซอร์ใดที่วัดค่าได้สมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วเซ็นเซอร์ทุกชนิดสามารถวัดผลได้คลาดเคลื่อน

3. ในการวัดค่าจะมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งส่งผลต่อสถานะของระบบในลักษณะแบบสุ่ม

Kalman filter มีลักษณะเป็นอัลกอริทึมแบบเวียนบังเกิด (Recursive algorithm) ซึ่งมีการคำนวณวนเวียนซ้ำเพื่อใช้สำหรับการประมาณค่าของระบบที่สถานะใด ๆ เพื่อให้เข้าใจมากขึ้น วัฏจักรการคำนวณของ Kalman filter มีรูปแบบดังภาพที่ 2.6




*ภาพที่ 2.6 ภาพวัฏจักร Kalman filter*

*(ที่มา: Kim and Reinschmidth, 2010)*

จากภาพที่ 2.6 จะพบว่าการคำนวณของ Kalman filter มีลักษณะเวียนซ้ำไปเรื่อย ๆ โดยที่ระหว่างการเวียนซ้ำจะมีการปรับแก้สถานะของระบบด้วยค่าที่ทำการวัด

**2.7.1 Kalman Filter Algorithm**

ส่วนนี้จะเป็นการอธิบายขั้นตอนและตัวแปรที่ใช้สำหรับ Kalman filter ที่ผ่านมามีการศึกษาวิธี Kalman filter กันอย่างแพร่หลายทำให้สัญลักษณ์ของตัวแปรที่ใช้ในสมการของ Kalman filter จะแตกต่างกันไปตามผู้วิจัย ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะอ้างอิงสมการจากบทความของ Welch and Bishop (2006)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

*ขั้นตอนที่ 1 การสร้างแบบจำลองสำหรับการประมาณค่า*

วัตถุประสงค์ประสงค์ของการทำ Kalman filter คือเพื่อประมาณค่าจริงของสถานะระบบที่ต้องการ ฉะนั้นกำหนดให้ $x_k$ เป็นค่าสถานะจริงของระบบที่ต้องการทราบ ซึ่งค่าของ $x_k$ อาจมีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละครั้งที่ทำการประมาณ ดังสมการ

$$x_k = Ax_{k-1} + w_{k-1} \tag{2.22}$$

โดย $A$ เรียกว่า Transition matrix เป็นเมทริกซ์ที่มีค่าคงที่ขนาด n x n ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นจากการประมาณครั้งที่ $k$ ไปสู่ครั้งถัดไปที่ $k+1$ ในกรณีของ

Kalman Filter Forecasting Method หากโครงการมีระยะเวลาก่อสร้างตามแผน 12 เดือน และมีการใช้งาน KFFM เดือนละครั้ง ดังนั้นในกรณีนี้ $k$ จึงหมายถึงเดือนที่ทำการใช้งาน

ส่วน $w_k$ คือ Process noise ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบของสถานะ $x_k$ ทั้งนี้กำหนดให้ $w_k$ เป็น Gaussian white noise ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่มที่มีค่าเท่ากับ $w_k \sim N(0, \mathrm{Q}_k)$

เมื่อกำหนดเวกเตอร์ของสถานะ (State vector $x_k$) ที่ต้องการทราบค่าแล้ว ต่อไปจะเป็นการปรับปรุงค่าที่ประมาณด้วยการวัดค่าจริง ซึ่งค่าที่ทำการวัดปริมาณได้จะต้องถูกปรับปรุงอีกครั้ง เนื่องจากว่าในการวัดปริมาณใด ๆ อาจมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งเวกเตอร์ของค่าปริมาณที่ถูกวัดและปรับปรุงด้วยค่าความผิดพลาดในการวัดแล้วจะเรียกว่า Measurement vector ซึ่งเป็นไปดังสมการ

$$z_k = Hx_k + v_k \tag{2.23}$$

โดยที่ $z_k$ คือ Measurement vector

$H$ คือ Observation matrix

$v_k$ คือ Measurement noise

$z_k$ คือ measurement vector ซึ่งเป็นซึ่งเวกเตอร์ของปริมาณที่ถูกวัดและปรับปรุงด้วยค่าความผิดพลาด $H$ คือ observation matrix เป็นเมทริกซ์ที่มีขนาดเท่ากับ m x n มีหน้าที่ในการเปลี่ยนค่าที่ทำการวัดให้อยู่ในรูปแบบที่นำมาใช้คำนวณร่วมกันได้ และ $v_k$ คือ measurement noise คือ ค่าความผิดพลาดของการวัดปริมาณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

*ขั้นตอนที่ 2 การเริ่มกระบวนการประมาณค่า*

หลังจากที่มีการกำหนดข้อมูลเวกเตอร์ของสถานะที่ต้องการทราบค่า (State vector) และเวกเตอร์ของการวัดปริมาณ (Measurement vector) เรียบร้อยแล้วแล้ว กระบวนการต่อมาที่ต้องทำคือการประมาณค่าจริงก่อนทำการวัด ทั้งนี้ในการประมาณค่าประกอบด้วย กลุ่มของสมการ (Equation set) 2 กลุ่ม คือ

1. Time update (“Predict”)

ในส่วนนี้เป็นการประมาณค่าสถานะของระบบ ประกอบด้วย 2 สมการที่สำคัญดังนี้

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} \tag{2.24}$$

$$P_k^- = A_k P_{k-1} A_k^T + Q_k \tag{2.25}$$

ในการคาดการณ์ค่าของระบบจะประกอบด้วยสมการ 2 สมการข้างต้น ซึ่ง $\hat{x}_k^-$ คือ Priori estimate เป็นค่าประมาณของสถานะก่อนการ Update ผลจากการวัดปริมาณจริง

$P_k^-$ คือ Prior error covariance เป็นตัวแทนของความผิดพลาดในการประมาณค่าสถานะของระบบ, $Q_k$ คือ Process noise covariance matrix

2. Measurement update (“Correct”)

$$K_k = P_k^- H^T (H P_k^- H^T + R)^{-1} \tag{2.26}$$

$$\hat{x}_k^+ = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H\hat{x}_k^-) \tag{2.27}$$

$$P_k^+ = (I - K_k H) P_k^- \tag{2.28}$$

หลังจากที่ทำการคาดการณ์ค่าของสถานะ (Predict) จากขั้นตอนแรก ในขั้นตอนนี้คือการ Measurement update เพื่อให้การประมาณค่ามีความถูกต้องมากขึ้น (Correct) ในขั้นตอนนี้มีตัวแปรที่ใช้ 2 ค่า ประกอบด้วย $R$ (Measurement Noise Covariance Matrix) คือค่าความแปรปรวนของความผิดพลาดในการวัดปริมาณ และ $K_k$ (Kalman gain) Kalman gain เป็นเมทริกซ์ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้น้ำหนักกับค่า Measurement ซึ่งจะเป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลโดยตรงต่อ $\hat{x}_k^+$ (Posterior estimate) อันเป็นค่าประมาณของสถานะที่ต้องการซึ่งถูกปรับปรุงให้ใกล้เคียงกับค่าจริง

กล่าวโดยสรุป Kalman filter เป็นอัลกอริทึมแบบเวียนเกิด ซึ่งมีความสามารถในการปรับปรุงค่าที่ประมาณได้ให้ใกล้เคียงกับค่าที่เป็นจริงมากขึ้น โดยใช้ผลที่ได้จากการวัดค่าที่เกิดขึ้นจริงในการปรับปรุงการพยากรณ์

วิธี Kalman filter เคยถูกใช้สำหรับงานวิจัยทางวิศวกรรมโยธาในหัวข้อ Structural control structural identification ซึ่งเป็นงานวิจัยในส่วนของวิศวกรรมโครงสร้าง และ Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) ซึ่งเป็นงานวิจัยทางด้านการบริหารงานก่อสร้าง

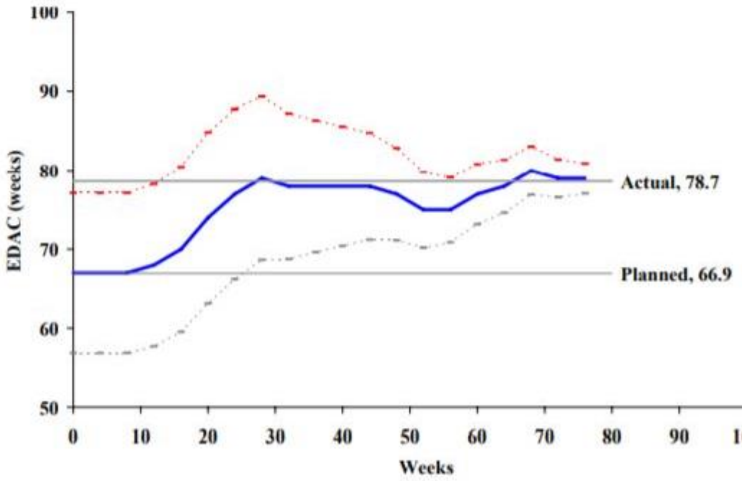
โดย Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) คือ การประยุกต์ Kalman Filter และ Earned Schedule เพื่อคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างในช่วงระหว่างการก่อสร้างและเพื่อสร้างสัญญาณเตือนถึงความล่าช้าล่วงหน้า (Early warning) ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่า KFFM มีความแม่นในยำในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างในช่วงระหว่างการก่อสร้างค่อนข้างมาก แต่ในขณะเดียวกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

KFFM มีโอกาสที่จะส่งสัญญาณเตือนได้ผิดพลาด (False warning) ถึง 14% ในช่วงที่โครงการดำเนินการไปแล้วเป็นระยะเวลาต่ำกว่าร้อยละ 30 ของระยะเวลาก่อสร้างตามแผน และโอกาสที่ส่งสัญญาณเตือนผิดพลาดจะลดลงเมื่อระยะเวลาดำเนินการผ่านไปมากขึ้น (Kim, 2007; Kim and Reinschmidth, 2009; Kim and Reinschmidth, 2010)

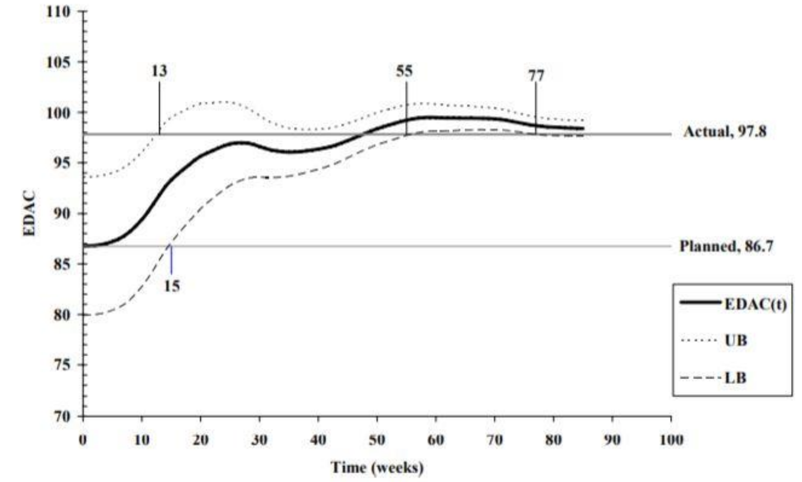
## 2.8 เปรียบเทียบผลการใช้งานวิธี Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) และ Bayesian Adaptive forecasting Method (BAFM)

ผลจากการศึกษาวิธี KFFM และ BAFM ที่เสนอโดย Kim (2007) และ Kim and Reinschmidth (2009) พบว่าวิธี KFFM และ BAFM นั้นมีแนวคิดพื้นฐานคล้ายกันและให้ผลลัพธ์เหมือนกัน คือวิธีการทั้ง 2 วิธีจะเริ่มต้นด้วยการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมด ต่อมาจะเป็นการปรับแก้ระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ด้วยผลการรายงานความคืบหน้าของการก่อสร้างที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งผลจากการปรับแก้จะทำให้การพยากรณ์ระยะเวลาสำหรับการก่อสร้างมีค่าเข้าใกล้กับระยะเวลาก่อสร้างที่ต้องใช้จริงมากขึ้น ดังภาพที่ 2.7 และ 2.8




*ภาพที่ 2.7 ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยวิธี KFFM*

*(ที่มา: Kim, 2007)*




*ภาพที่ 2.8 ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยวิธี BAFM*

*(ที่มา: Kim and Reinschmidth (2009)*

Kim (2007) กล่าวว่าวิธี KFFM ให้ความแม่นยำในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้าง (Accuracy) ในระดับที่น่าพึงพอใจ ในขณะเดียวกันวิธี KFFM มีโอกาสที่จะส่งสัญญาณเตือนความล่าช้าได้ผิดพลาด (False warning) ที่ร้อยละ 14 ซึ่งมากกว่าวิธี BAFM ซึ่งมีโอกาสพบ False warning ที่ร้อยละ 8 อย่างไรตามโอกาสในการเกิด False warning เหล่านี้จะเกิดขึ้นในระหว่างที่โครงการกำลังดำเนินการไปได้ไม่เกิน 30% ของระยะเวลาโครงการ (30% of T) เมื่อระยะเวลาผ่านไปโอกาสในการเกิด False warning จะลดลง ซึ่งคุณสมบัติพื้นฐานและความสามารถในการพยากรณ์ของวิธี KFFM และ BAFM สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติและความสามารถของวิธี KFFM และ BAFM จะเห็นได้วิธีมีข้อแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย การตัดสินใจว่าจะเลือกใช้วิธี KFFM หรือ BAFM ขึ้นอยู่กับความถนัดและดุลยพินิจของผู้ใช้งาน

จากที่กล่าวมาผู้วิจัยได้เลือกใช้ Kalman Filter Forecasting Method สำหรับการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้าง (Forecasting) และประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดความล่าช้าในการก่อสร้าง (risk of delayed construction) เนื่องด้วย KFFM มีความสะดวกต่อการใช้งานและเหมาะสมกับผู้ใช้งานทุกท่านเพราะง่ายแก่การทำความเข้าใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2.1 ความสามารถในการพยากรณ์ของวิธี KFFM และ BAFM

| Criteria | KFFM | BAFM |
|---|---|---|
| ความแม่นยำในการคาดการณ์ (ช่วงเวลาที่ทำการคาดการณ์: เริ่มโครงการ – ระยะเวลา30% ของระยะเวลาโครงการ) | ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 7 % | ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 8 % |
| ความแม่นยำในการคาดการณ์ (ช่วงเวลาที่ทำการคาดการณ์: ระยะเวลาตั้งแต่ 30% ของระยะเวลาโครงการขึ้นไป) | ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 6 % | ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 6 % |
| ความน่าเชื่อถือของสัญญาณเตือนความล่าช้า | KFFM มีโอกาสส่งสัญญาณเตือนผิดพลาด (False warning) 14% ในช่วง 30% ของระยะเวลาก่อสร้างตามแผน และลดลงเมื่อเวลาผ่านไป | BAFM มีโอกาสส่งสัญญาณเตือนผิดพลาด (False warning) 8% ในช่วง 30% ของระยะเวลาก่อสร้างตามแผน และลดลงเมื่อเวลาผ่านไป |

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติพื้นฐานของวิธี KFFM และ BAFM

| Criteria | KFFM | BAFM |
|---|---|---|
| คุณสมบัติของวิธีการ | - Project level control<br>- Probabilistic prediction<br>- ใช้ Prior information | - Project level control<br>- Probabilistic prediction<br>- ใช้ Prior information |
| Input | - Prior probability Distribution ของระยะเวลาก่อสร้าง<br>- Baseline curve<br>- Actual progress | - Prior probability Distribution ของระยะเวลาก่อสร้าง<br>- Baseline curve<br>- Actual progress |
| การนำไปใช้งาน (Applicability) | - สามารถใช้กับโครงการก่อสร้างได้ทุกโครงการ | - สามารถใช้กับโครงการก่อสร้างได้ทุกโครงการ |
| Flexibility | - ผลของการคาดการณ์ระยะเวลาขึ้นอยู่กับ Measurement error | - ผลของการคาดการณ์ระยะเวลาขึ้นอยู่กับ Likelihood |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**2.9 ความล่าช้าในโครงการก่อสร้างและการชดเชยความเสียหายจากการล่าช้า**

ปัญหาความล่าช้าในการก่อสร้างมีโอกาสเกิดขึ้นได้กับโครงการก่อสร้างทุกประเภท ซึ่งไม่เว้นแม้แต่โครงการ PPP ความล่าช้าในการก่อสร้างสามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงการได้อย่างรุนแรง โดยทั่วไปเมื่อความล่าช้าเกิดขึ้น ผู้บริหารโครงการมักจะเพิ่มทรัพยากรต่าง ๆ เช่น คนงาน เครื่องจักร และอื่น ๆ เพื่อที่จะเร่งการก่อสร้างให้ทันเวลาส่งมอบตามที่ระบุไว้ในสัญญา ก่อให้ให้เกิดค่าใช้จ่ายที่มากขึ้นจากที่ประมาณการไว้ (Hassanein and Moselhi, 2005)

จากปัญหาที่เกิดขึ้นทำให้มีผู้ที่พยายามหาสาเหตุของความล่าช้าเพื่อที่จะป้องกันไม่ให้เกิดความล่าช้า ดังเช่น Le-Hoai et al. (2008) ได้ยกตัวอย่างสาเหตุของความล่าช้าบางประการเช่น ความซับซ้อนของโครงการ พื้นที่ในการก่อสร้างโครงการ ขนาดของโครงการ และขอบเขตของงานที่ต้องทำในโครงการ  นอกจากนี้ผู้วิจัยท่านอื่นยังได้เสนอปัจจัยอื่น ๆ ที่น่าสนใจที่ก่อให้เกิดความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการอีกเช่น สภาพอากาศ การเปลี่ยนแปลงข้อบังคับทางกฎหมาย และสถานการณ์ทางการเมือง เป็นต้น จากสาเหตุต่าง ๆ ที่กล่าวมาเป็นเพียงแค่ตัวอย่างเท่านั้นยังมีปัจจัยอื่น ที่ก่อให้เกิดความล่าช้าในการก่อสร้างอีกมากมาย ซึ่งความล่าช้าสามารถแบ่งประเภทของความล่าช้าได้ 3 ประเภทดังต่อไปนี้ (Kraiem and Diekmann, 1987)

1. Non-excusable delay คือความล่าช้าที่เกิดจากความผิดพลาดของผู้รับเหมาเองทั้งหมด ทั้งจากความตั้งใจและประมาท ยกตัวอย่างเช่นความผิดพลาดในการบริหารจัดการโครงการ ซึ่งความล่าช้าประเภทนี้ผู้รับเหมาไม่สามารถเรียกร้องการชดเชยความเสียหายจากเจ้าของโครงการได้

2. Excusable non-compensable delay คือความล่าช้าที่เกิดจากสิ่งที่ไม่คาดว่าจะเกิดขึ้นหรือมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมากเช่นสาเหตุจากความแปรปรวนของสภาพอากาศชนิดที่คาดไม่ถึงเช่น พายุเฮอริเคน แผ่นดินไหวรุนแรง หรือเหตุการณ์อื่น ๆ ที่ทำให้โครงการต้องหยุดการก่อสร้าง หากเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ขึ้นผู้รับสามารถเรียกร้องให้มีการชดเชยได้แต่โดยทั่วไปเจ้าของโครงการจะชดเชยให้ด้วยการขยายเวลาการก่อสร้างให้เท่านั้น

3. Excusable compensable delay ความล่าช้าประเภทนี้มักจะเกิดขึ้นจากฝ่ายเจ้าของโครงการเองซึ่งผู้รับเหมาสามารถเรียกร้องการชดเชยได้ทั้งเงินค่าเสียหายและการขยายระยะเวลาก่อสร้าง

ดังที่กล่าวมาเมื่อมีการเรียกร้องค่าเสียหายจากความล่าช้า ผู้รับเหมาและเจ้าของโครงการจะต้องใช้การแบ่งประเภทของความล่าช้าร่วมพิจารณาความเสียหายด้วย ทั้งนี้ McDonald and Baldwin (1989) ได้กล่าวว่า ในการเรียกร้องการชดเชยความเสียหายนั้นก็มีประเด็นสำคัญที่จำเป็นต้องคำนึงถึงจำนวน 2 ประเด็น นั่นคือ (1) ความเสียหายเหล่านั้นต้องคาดการณ์ได้ และ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(2) สามารถวิเคราะห์เป็นค่าเสียหายได้อย่างถูกต้องมิใช่ค่าเสียหายที่ถูกกำหนดขึ้นมาอย่างไม่ความสมเหตุสมผล มิเช่นนั้นแต่ละฝ่ายจะไม่สามารถบังคับให้มีการชดเชยค่าเสียหายได้

ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเอกสารของ Jervis and Levin (1988) ซึ่งว่าด้วยกฎหมายการก่อสร้างพบว่าทั้ง 2 ท่านได้กล่าวถึงวิธีการแสดงความเสียหายจากความล่าช้าไว้ด้วยกัน 2 วิธีดังนี้

1. การคิดอัตราชดเชยความเสียหายจากความล่าช้า (Liquidated Damages) เป็นรูปแบบของการคิดค่าชดเชยในอัตราที่กำหนด เพียงแต่ว่าในการกำหนดอัตราค่าชดเชยนั้นควรมีจะหลักการที่น่าเชื่อ ซึ่งหลักการพิจารณาอัตราค่าชดเชยที่เหมาะสมประกอบด้วย 2 หลักการคือ

ก) การกำหนดอัตราเป็นค่าชดเชยความเสียหายรายวัน ซึ่งการกำหนดอัตราค่าชดเชยในลักษณะนี้ต้องมีที่มาและเหตุผลที่เหมาะสมในการคำนวน ที่ซึ่งมูลค่าของความเสียหายที่เกิดขึ้นไม่จำเป็นต้องมีมูลค่าเท่ากับความเสียที่เกิดขึ้นจริงได้เนื่องจากเป็นการประมาณการเท่านั้น

ข) การกำหนดเป็นอัตราค่าเสียหายที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งวิธีการพิจารณาค่าชดเชยในรูปแบบนี้อาจจะเป็นวิธีการที่ยาก แต่ในขณะเดียวกันก็ควรจะให้ความสำคัญเช่นกัน

2. การคิดความเสียหายที่เกิดขึ้นจริง การคิดความเสียหายด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องมีการตรวจสอบผลความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงเมื่อโครงการเกิดความล่าช้าขึ้น เมื่อพิจารณาถึงความยากในการคำนวณและการตรวจสอบบัญชีจึงทำให้วิธีนี้ไม่ได้รับความนิยม

### 2.10 ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในโครงการร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชน

ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในโครงการ PPP ค่อนข้างที่จะมีความแตกต่างจากโครงการอื่น ๆ ที่ใช้รูปแบบการจัดหาแบบดั้งเดิมที่ภาครัฐมีหน้าในการจัดหาผู้รับเหมาและบริหารโครงการเองทั้งหมด เนื่องด้วยโครงการ PPP เป็นการทำสัญญาระยะยาวระหว่างภาครัฐและเอกชนอื่น ๆ ซึ่งมิใช่เพียงสัญญาก่อสร้างเท่านั้น ซึ่งผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของโครงการ PPP ประกอบไปด้วยผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลักอย่างน้อย 3 ฝ่ายคือ (1) ฝ่ายรัฐบาลเจ้าของโครงการ (2) ฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทาน และ (3) ประชาชน นอกจากนี้ยังมีผู้มีส่วนได้ส่วนเสียอื่น ๆ อีกตัวอย่างเช่น สถาบันการเงิน นักอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และอื่น ๆ (Wojewnik-Filipkowska and Węgrzyn, 2019)

ถึงแม้ว่าจะมีผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายฝ่ายแต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมุ่งศึกษาไปที่ผลกระทบจากความล่าที่เกิดขึ้นกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 3 ฝ่ายประกอบไปด้วย (1) ฝ่ายภาครัฐที่เป็นเจ้าของโครงการ (2) ฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทาน และ (3) ประชาชน ซึ่งแต่ละฝ่ายนั้นมีส่วนได้ส่วนเสียจากโครงการที่ต่างกันอย่างสิ้นเชิงซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. ส่วนได้ส่วนเสียฝ่ายภาครัฐเจ้าของโครงการ (Grantor)

การที่รัฐบาลเสนอโครงการ PPP รัฐบาลมีความต้องการที่จะกระจายความเสี่ยงที่ฝ่ายของตนได้รับ และในขณะเดียวกันก็มีความต้องการที่จะสร้างคุณประโยชน์อย่างยั่งยืนในทุกด้านไม่ว่าจะเป็นด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และสิ่งแวดล้อม

2. ส่วนได้ส่วนเสียของฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทาน (Sponsor)

จุดมุ่งหมายหลักของฝ่ายเอกชนที่เข้ามารับสัมปทานนั่นคือการเข้ามาเพื่อสร้างผลกำไรจากการดำเนินการในโครงการนั้น ๆ ในขณะเดียวกันก็จะถูกควบคุมการดำเนินงานบางส่วนโดยรัฐบาล ทั้งนี้เพื่อกันไม่ให้ภาคเอกชนผู้รับสัมปทานพยายามสร้างผลกำไรมากเกินควร

3. ส่วนได้ส่วนเสียของประชาชนหรือของสาธารณะ (Public)

สำหรับประชาชนผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับโครงการจะมีความเกี่ยวข้องกับโครงการ 3 ช่วงคือ (1) ช่วงพัฒนาโครงการ (2) ช่วงระหว่างการก่อสร้าง และ (3) ช่วงที่โครงการเปิดให้บริการ ซึ่งส่วนได้ส่วนเสียของภาคประชาชนในแต่ละช่วงนั้นจะแตกต่างกันไป นั่นคือช่วงพัฒนาโครงการ รัฐบาลจะทำการศึกษาความต้องการของประชาชนว่ามีความต้องการโครงการนั้นหรือไม่ ในช่วงนี้รัฐบาลอาจให้ประชาชนในพื้นที่โครงการเข้าร่วมการประชุมเพื่อศึกษาผลกระทบและหารือในประเด็นต่างเพื่อให้โครงการเกิดประโยชน์สูงสุด ต่อมาระหว่างการก่อสร้างประชาชนอาจได้รับผลกระทบจากการก่อสร้างเช่น การจราจรติดขัด มลพิษจากการก่อสร้าง เป็นผลให้ประชาชนเสียสุขภาพและสิ้นเปลืองทรัพยากรเป็นอย่างมาก เมื่อโครงการเปิดให้บริการประชาชนก็ต้องการคุณภาพในการบริการที่ดี ยกตัวอย่างเช่นโครงการรถไฟฟ้าที่ประชาชนต้องการความน่าไว้วางใจของระบบ เช่นการที่ขบวนรถไฟเข้าสู่ชานชาลาตรงเวลาเป็นต้น (Wisniewski, 2001)

การทราบความเกี่ยวข้องของ Stakeholder กับโครงการจะช่วยให้การประเมินผลกระทบกับ Stakeholder มีความถูกต้องมากขึ้น จะเห็นได้ว่า Stakeholder แต่ละฝ่ายมีส่วนได้ส่วนเสียกับโครงการที่แตกต่างกัน เป็นผลให้การประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต้องสอดคล้องกับส่วนได้เสียของ Stakeholder แต่ละฝ่ายด้วย

### 2.11 การประเมินผลกระทบต่อโครงการอันเนื่องมาจากความล่าช้าในการก่อสร้าง

การประเมินความเสียหายอันเนื่องมาจากความความล่าช้าของโครงการ PPP นับว่าเป็นเรื่องที่หาผู้วิจัยได้ยาก การศึกษาเรื่องดังกล่าวในอดีตจนถึงปัจจุบันมีเพียงไม่กี่ท่าน ตัวอย่างเช่น Kasimu (2012) ที่ทำการศึกษาเหตุที่ก่อให้เกิดการใช้งบประมาณบานปลายในการก่อสร้าง ซึ่งผลปรากฏว่าปัญหาความล่าช้าในการก่อสร้างนั้นก็เป็นหนึ่งในสาเหตุเหล่านั้น นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ

Kokkaew and Wipulanusat (2014) ที่ได้ทำการศึกษาการบริหารความเสี่ยงของการก่อสร้างล่าช้า ได้กล่าวว่า “ความเสี่ยงต่อการก่อสร้างล่าช้านั้นนับได้ว่าเป็นหนึ่งในความเสี่ยงหลัก สำหรับโครงการก่อสร้างพื้นฐาน และผลจากการก่อสร้างล่าช้าก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายได้อย่างมหาศาล” จะเห็นได้ว่าความล่าช้าที่เกิดขึ้นสามารถส่งผลกระทบกับการเงินได้อย่างชัดเจน ดังนั้นการประเมินความเสียหายจากความล่าช้าที่ดีจะช่วยให้ผู้บริหารโครงการและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถวางแผนรับมือกับความเสียและบรรเทาผลกระทบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เพื่อที่จะทำการประเมินผลกระทบที่เกิดจากความล่าช้าในการก่อสร้างแบบจำลองทางคณิตจะเป็นเครื่องมือที่ถูกใช้สำหรับการประเมินความเสียหาย ทั้งนี้การเสนอแบบจำลองนั้นกลับมีข้อจำกัดบางประการที่ส่งผลต่อความถูกต้องของสมการเช่น จำนวนข้อมูลที่เกี่ยวข้องนั้นมีความสอดคล้องและเพียงพอต่อการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์หรือไม่ เพราะการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ดีควรอยู่บนพื้นฐานทางสถิติและข้อมูล ดังนั้นหากไม่มีข้อมูลทางสถิติที่เพียงพอสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้นั้นจะเกิดมาจากแนวคิดและทฤษฎีที่สอดคล้องกัน

จากการศึกษางานวิจัยของ (วิศณุ ทรัพย์สมพล, 2542) ซึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อพิจารณาผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนอันเนื่องมาจากการก่อสร้าง วิศณุ ทรัพย์สมพล (2542) กล่าวว่าการคิดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนโดยทั่วไปมักจะใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้และความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งมีการใช้รูปแบบที่แตกต่างกันตามแต่ละหน่วยงาน แต่โดยทั่วไปแล้วรายการค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนจะประกอบด้วย 3 รายการดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการใช้รถ (Vehicle operating cost)

2. มูลค่าเวลาของผู้ใช้รถ (Value of time)

3. ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุ (Accident cost)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดย วิศณุ ทรัพย์สมพล (2542) ได้นำรายการค่าใช้จ่ายในการใช้ถนนเป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลอง โดยมีแนวคิดว่าเมื่อมีการก่อสร้างเกิดขึ้นอาจจะมีการปิดถนน ลดช่องจราจร และกิจกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง จะส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการใช้ถนนของประชาชนในช่วงที่มีการก่อสร้าง อย่างไรก็ตามตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ วิศณุ ทรัพย์สมพล (2542) คิดค้นขึ้นจะเป็นตัวแบบผลกระทบกับค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนในช่วงระหว่างที่มีการก่อสร้าง ซึ่งไม่ใช่ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความล่าช้าในการก่อสร้าง อีกทั้งยังไม่ได้กล่าวถึงความเสียหายหรือผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้ว่าจ้างหรือเจ้าของงานด้วย แต่ผลการศึกษาของ วิศณุ ทรัพย์สมพล (2542) ก็ได้มอบแนวคิดที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนาตัวแบบผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ในงานก่อสร้างของภาครัฐ เมื่อเกิดความล่าช้าในการก่อสร้างขึ้น หน่วยงานภาครัฐมักมีการกำหนดค่าปรับเป็นอัตราหนึ่งตามระเบียบของการจัดซื้อจัดจ้างไว้แล้ว อีกทั้งมูลค่าดังกล่าวก็ไม่ได้มีการระบุถึงวิธีการคิดและที่มา ซึ่งในความเป็นจริงแล้วการคำนวนค่าปรับควรคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความล่าช้าอย่างมีเหตุผล ดังนั้น ศาศวัต ภูริภัสสรกุล (2542) จึงทำการสัมภาษณ์บุคลากรของหน่วยงานภาครัฐและสรุปรายการผลกระทบต่อเจ้าของงานที่อาจจะเกิดความล่าช้าในการก่อสร้างได้ดังนี้

1. ผลกระทบต่อรายได้จากการดำเนินงานและรายได้อื่น ๆ

รายได้จากการดำเนินงานคือรายได้ที่ได้มาจากการให้บริการหรือการขายสินค้า หากเกิดความล่าช้าในการก่อสร้างขึ้น ทำให้หน่วยงานต่าง ๆ ไม่สามารถใช้ประโยชน์โครงการในการดำเนินงานได้จึงทำให้เกิดการสูญเสียรายได้ในส่วนนี้

รายได้อื่น ๆ คือ รายได้ที่ไม่ได้มาจากการดำเนินงาน เช่นการให้เช่าพื้นที่ค้าขายหรือรายได้จากการให้ป้ายโฆษณา เป็นต้น

2. ค่าดำเนินการ ค่าซ่อมบำรุงรักษาและค่าบริหารจัดการ

กลุ่มนี้จะเป็นค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในโครงการเพื่อให้โครงการยังดำเนินงานต่อไปได้ เช่น ค่าตอบแทนพนักงาน เงินเดือนผู้บริหาร ค่าสาธารณูปโภคและค่าโสหุ้ยเป็นต้น เมื่อเกิดความล่าช้าในการก่อสร้าง จะทำให้เจ้าของต้องแบกรับภาระค่าใช้จ่ายที่มากขึ้นต่อไปจนกว่าโครงการจะแล้วเสร็จ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. ค่าเสียโอกาสของเจ้าของงาน

การที่เจ้าของงานแบกรับภาระค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น รวมไปถึงการที่ต้องใช้เวลาในการดูแลโครงการที่มากขึ้น ทำให้เจ้าของสูญเสียโอกาสในการที่จะนำทรัพยากรต่าง ๆ ไปใช้ในกิจกรรมที่ก่อให้เกิดรายได้ เช่นการนำเงินไปลงทุนในโครงการอื่นเพื่อสร้างผลตอบแทน ซึ่งเมื่อโครงการเกิดความล่าช้าอาจทำให้เจ้าของงานต้องเสียโอกาสเหล่านี้ จึงถือว่าเป็นผลกระทบอย่างหนึ่ง

4. ค่าจ้างผู้ควบคุมงานและการตรวจสอบทางวิศวกรรมที่เพิ่มขึ้น

โครงการก่อสร้างต่าง ๆ ควรจะต้องมีการผู้ควบคุมงานต่าง ๆ ในโครงการ ซึ่งในหลายโครงการเจ้าของงานมักจะมีการจ้างบริษัทที่ปรึกษามาทำการควบคุมและตรวจสอบ ความล่าช้าที่ขึ้นจะส่งผลให้เจ้าของงานต้องมีการขยายระยะเวลาว่าจ้างที่ปรึกษา ก่อให้เกิดเป็นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น

โครงการของภาครัฐบางโครงการที่มีการปิดผิวทางจราจร เช่น โครงการก่อสร้างถนน ความล่าช้าในการก่อสร้างยังส่งผลกระทบถึงประชาชนที่สัญจรผ่านโครงการอีกด้วย เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบที่สามารถวิเคราะห์ออกมาในรูปเป็นตัวเงิน ก็จะใช้รายการค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ในการประเมิน ซึ่งประกอบด้วย

1. ค่าใช้จ่ายในการใช้รถ (Vehicle operating cost)

2. มูลค่าเวลาของผู้ใช้รถ (Value of time)

3. ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุ (Accident cost)

เมื่อเปรียบเทียบรายการผลกระทบกับผู้ใช้ถนนที่เกิดขึ้น พบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิศณุ ทรัพย์สมพล (2542) ผู้วิจัยจึงเห็นว่ารายการผลกระทบดังกล่าวสมควรที่จะนำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ต่อมา มณฑิณี ยิ่งเจริญ (2553) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการกำหนดค่าชดเชยความเสียหายที่เกิดจากความล่าช้าของโครงการรถไฟฟ้า โดยความเสียหายที่เกิดขึ้นนับได้ว่าเป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความล่าช้าได้เช่นกัน เนื่องจากการเรียกค่าชดเชยความเสียหายที่เกิดขึ้นจากความล่าช้า มูลค่าความเสียหายที่เรียกร้องให้ชดเชยนั้น ต้องมีการคาดการณ์มากจากผลกระทบที่เกิดจากความล่าช้าอย่างสมเหตุสมผล โดย มณฑิณี ยิ่งเจริญ (2553) ได้ทำการแบ่งหมวดหมู่ความเสียหายที่เกิดขึ้นดังนี้

**1. ค่าเสียหายที่นายจ้างต้องประสบ**

ก) ความเสียหายจากการบริหารจัดการโครงการ

1. ความเสียหายด้านบุคลากร
    - ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากรโครงการ
    - ค่าใช้จ่ายด้านบุคลกรทั่วไป
2. ค่าเสียหายด้านสิ่งอำนวยความสะดวกสำนักงานชั่วคราว
3. ค่าเสียหายด้านสาธารณูปโภคในที่ก่อสร้าง
4. ค่าเสียหายด้านเงินประกันที่ขยายออกไป
5. ค่าเสียหายในการจัดหาวัสดุอุปกรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข) ความเสียหายจากการสูญเสียการใช้ประโยชน์

1. ค่าเสียหายจากการเช่าสิ่งอำนวยความสะดวก

2. ค่าเสียหายจากการขาดรายได้การให้เช่า

3. ค่าเสียหายจากการดำเนินงานที่ไม่มีประสิทธิภาพ

4. ค่าเสียหายด้านรายได้ที่สูญเสีย

5. ค่าเสียหายด้านการจัดหาผลิตภัณฑ์อย่างอื่นทดแทน

ค) ความเสียหายทางด้านการเงิน

1. ค่าเสียหายด้านเงินค่าดอกเบี้ยเงินกู้และค่าธรรมเนียม

2. ค่าเสียหายด้านเงินอัตราเงินกู้ที่ถูกเพิ่ม

ง) ค่าเสียหายจากการเรียกร้องของบุคคลอื่น

1. ค่าเสียหายจากผู้รับเหมารายอื่น

2. ค่าเสียหายจากการจ้างสถาปนิกหรือวิศวกร

**2. ค่าเสียหายต่อสาธารณะ**

ก) ค่าใช้จ่ายในการใช้รถ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข) ต้นทุนเวลาของผู้ใช้รถ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ค) ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุ

ง) ค่าเสียหายด้านสิ่งแวดล้อม

ดังจะเห็นได้ว่าค่าเสียหายเหล่านี้จะถูกแบ่งออกเป็นออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ โดยจำแนกตามความเสียหายที่เกิดกับแต่ละฝ่าย ซึ่งแต่ละฝ่ายจะมีการแบ่งหมวดหมู่ย่อยตามผลกระทบที่ได้รับ ทำให้ทราบว่าเมื่อโครงการไม่สามารถสร้างให้เสร็จทันเวลาจะส่งผลกระทบต่อผู้เกี่ยวข้องกับโครงการอย่างมากในเชิงของค่าใช้จ่ายที่มากขึ้น

หลังจากที่ทำการศึกษาแนวคิดของ (ศาศวัต ภูริภัสสรกุล, 2542; วิศณุ ทรัพย์สมพล, 2542; มณฑิณี ยิ่งเจริญ, 2553) ผู้วิจัยมีความเห็นว่าแนวคิดดังกล่าวอาจยังไม่เพียงพอจึงได้ทำการศึกษาผลงานของ (พันธ์ศักดิ์ ดาวเรือง, 2547) และ (Matthews et al., 2015) เพิ่มเติม

โดย พันศักดิ์ ดาวเรือง (2547) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการกำหนดค่าความเสียหายจากความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการของภาครัฐประเภทถนนและประเภทงานชลประทาน ซึ่งได้มีรวบรวมข้อมูลในส่วนของความเสียหายจากความล่าช้าในการก่อสร้างที่เกิดขึ้นกับฝ่ายภาครัฐ โดยมีรายการความเสียหายดังนี้

1. ความเสียหายในการบริหารจัดการโครงการ

2. ความเสียหายจากการสูญเสียการใช้ประโยชน์

3. ความเสียหายจากการเรียกร้องของบุคคลอื่น

4. ความเสียหายด้านการเงิน

5. ความเสียหายอื่น ๆ เช่น การเบิกจ่ายไม่ตรงตามแผนงาน เป็นต้น

จากรายการความเสียหายดังกล่าวของ พันศักดิ์ ดาวเรือง (2547) พบว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นภาครัฐจะมีลักษณะที่สอดคล้องกับค่าเสียหายที่นายจ้างต้องประสบ แต่งานวิจัยของ พันศักดิ์ ดาวเรือง (2547) ก็มีประเด็นเพิ่มเติมที่น่าสนใจ คือ ความล่าช้าที่เกิดขึ้นอาจทำให้ภาครัฐมีการเบิกจ่ายไม่ตรงตามแผนงาน แต่การคำนวณค่าความเสียหายดังกล่าวนั้นเป็นเรื่องยาก

ต่อมาในส่วนงานวิจัยของ Matthews et al. (2015) เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการหาต้นทุนทางสังคมสำหรับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานประเภทระบบท่อใต้ดิน ซึ่งผลงานดังกล่าวได้ระบุถึงต้นทุนทางสังคมอันเป็นผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเมื่อต้องมีการดำเนินโครงการ ทั้งนี้จากการศึกษารายการต้นทุนทางสังคมที่จะเกิดพบว่ามีรายการต้นทุนที่เพิ่มเติมจากที่งานวิจัยของ (มณฑิณี ยิ่งเจริญ, 2553) คือการสูญเสียรายได้ของธุรกิจในบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง ดังนั้นหากว่าโครงการมีการก่อสร้างล่าช้าเกิดขึ้นจะเป็นผลให้ประชาชนในพื้นที่สูญเสียรายได้มากขึ้นตามไปด้วย

อย่างไรก็ตามแนวคิดของ (วิศณุ ทรัพย์สมพล, 2542; ศาศวัต ภูริภัสสรกุล, 2542; พันธ์ศักดิ์ ดาวเรือง, 2547; มณฑิณี ยิ่งเจริญ, 2553; Matthews et al., 2015) ยังต้องมีการนำมาประยุกต์ใช้ให้เข้ากับบริบทของโครงการที่จะนำมาใช้เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากโครงการรถไฟฟ้าแต่ละโครงการจะมีเนื้อหาของสัญญาที่แตกต่างกัน ทำให้แนวทางการประเมินผลกระทบกับแต่ผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการแต่ละฝ่ายย่อมเปลี่ยนไป

จากการศึกษาสัญญาของโครงการซึ่งคาดว่าจะนำมาใช้เป็นกรณีศึกษา ตัวอย่างเช่นสัญญาของโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู (การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย, 2560) ที่ได้ระบุหน้าที่ต่าง ๆ ของคู่สัญญาเอาไว้ เช่นหน้าที่เอกชนผู้รับสัมปทานที่ต้องทำการก่อสร้างและจัดหาระบบ รวม

ไปถึงการทำประกันภัยความเสี่ยงทุกชนิด หมายความว่าหากพิจารณาในส่วนการจ่ายเบี้ยของเงินประกัน หากเกิดความล่าช้าในการก่อสร้างผู้ที่ได้รับความเสียหายคือเอกชนผู้รับสัมปทานซึ่งอาจต้องชำระเบี้ยของระยะเวลาประกันที่ขยายออกไป ทั้งนี้ส่วนของผลกระทบดังกล่าวจัดอยู่ในส่วนที่นายจ้างต้องประสบ นอกจากนี้ผลจากการก่อสร้างที่ล่าช้าจะส่งผลกระทบอื่น ๆ เช่นการจราจรติดขัดที่นานเกินกว่าที่ระยะเวลาตามแผนถือเป็นผลกระทบที่ประชาชนได้รับ ซึ่งอยู่ในส่วนความเสียหายของสาธารณะ ดังนั้นในส่วนนี้จะขอทำการจำแนกผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ โดยการศึกษาเอกสารสัญญาร่วมทุนและจากการทำความเข้าใจของผู้เขียน ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 รายการความเสียหายจากความล่าช้าที่เกิดขึ้นกับโครงการ PPP

| ผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ | รายการผลกระทบที่เกิดจากความล่าช้า |
|---|---|
| ฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทาน | ก) ความเสียหายจากการบริหารจัดการโครงการ<br>ข) ความเสียหายจากการสูญเสียการใช้ประโยชน์<br>ค) ความเสียหายทางด้านการเงิน<br>ง) ค่าเสียหายจากการเรียกร้องของบุคคลอื่น |
| ตารางที่ 2.3 รายการความเสียหายจากความล่าช้าที่เกิดขึ้นกับโครงการ PPP (ต่อ) | |
| ภาครัฐเจ้าของโครงการ | ก) ความเสียหายจากการบริหารจัดการโครงการ<br>ข) ความเสียหายทางด้านการเงิน |
| ประชาชน | ก) ค่าใช้จ่ายในการใช้รถ<br>ข) ต้นทุนเวลาของผู้ใช้รถ<br>ค) ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุ<br>ง) ค่าเสียหายด้านสิ่งแวดล้อม |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จะเห็นได้ว่าผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการแต่ละฝ่ายได้รับผลกระทบที่เกิดขึ้นกับแตกต่างกันไปตามหน้าที่หรือความเกี่ยวข้องกับโครงการ อย่างไรก็ตามตารางด้านบนเป็นเพียงแนวทางที่ผู้เขียนได้ปรับให้เข้ากับบริบทของงานวิจัยฉบับนี้ที่ต้องการจะศึกษาผลกระทบจากความล่าช้าต่อผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ PPP ทั้ง 3 ฝ่าย ซึ่งรายการผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นดังกล่าวเป็นการนำแนวคิดของมณฑิณี ยิ่งเจริญ (2553) มาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเท่านั้น

สาเหตุที่วิจัยนำแนวคิดของ มณฑิณี ยิ่งเจริญ (2553) มาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการกำหนดผลกระทบจากความล่าช้า เพราะบริบทของงานวิจัยดังกล่าวมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยฉบับนี้ เนื่องด้วยงานวิจัยของ มณฑิณี ยิ่งเจริญ (2553) ได้ทำการวิเคราะห์ค่าความเสียหายที่เกิดกับโครงการ

รถไฟฟ้าสายสีน้ำเงิน ซึ่งโครงการดังกล่าวจะมีการแบ่งสัญญาออกเป็นสัญญาจ้างก่อสร้างงานโยธาและสัญญาการก่อสร้างงานระบบและให้กรรมสิทธิ์ในดำเนินโครงการ ซึ่งในช่วงการก่อสร้างงานโยธานั้นจะเป็นการทำสัญญาระหว่าง รฟม. และบริษัทเอกชนโดยที่ รฟม. เป็นเจ้าของโครงสร้างและชำระเงินจากการให้บริการเหล่านั้น ทำให้ผลกระทบต่อส่วนของเจ้าของจากความล่าช้าในการก่อสร้างจะส่งผลโดยตรงกับ รฟม. ซึ่งเป็นภาครัฐเจ้าของโครงการ ดังนั้นเมื่อทำการปรับบริบทให้เข้าโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู ที่เป็นสัญญาร่วมลงทุน ซึ่งให้สิทธิ์แก่บริษัท นอร์ทเทิร์น บางกอกโมโนเรล จำกัด (NBM) ในการถือครองกรรมสิทธิ์ในระบบรถไฟฟ้าและจัดเก็บรายได้ ในรูปแบบ PPP net-cost ทำให้ความเสียหายจากความล่าช้าในการก่อการในส่วนของเจ้าของเกิดขึ้นกับ NBM ไปโดยปริยาย

**2.12 กรอบแนวคิดและสมมติฐานของงานวิจัย**

ปัญหาความล่าช้าในการก่อสร้างสามารถส่งผลกระทบกับโครงการได้อย่างรุนแรง ทำให้ผู้วิจัยเกิดความคิดที่จะศึกษาแนวทางในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างและประเมินผลกระทบจากระยะเวลาก่อสร้างที่อาจเกิดขึ้นต่อเอกชนผู้รับสัมปทานและภาครัฐเจ้าของโครงการเพื่อการเตรียมการรับมือ

ผลการศึกษาแนวคิดและวิธีการจากเอกสารงานวิจัย พบว่าแนวคิดที่เหมาะสมสำหรับการสร้างกรอบแนวคิดงานวิจัยดังภาพที่ 2.6 ประกอบด้วย (1) การประเมินความเสี่ยงต่อความล่าช้าและการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยวิธี Kalman Filter Forecast Method และ (2) แนวคิดเรื่องค่าความเสียหายจากการก่อสร้างล่าช้า

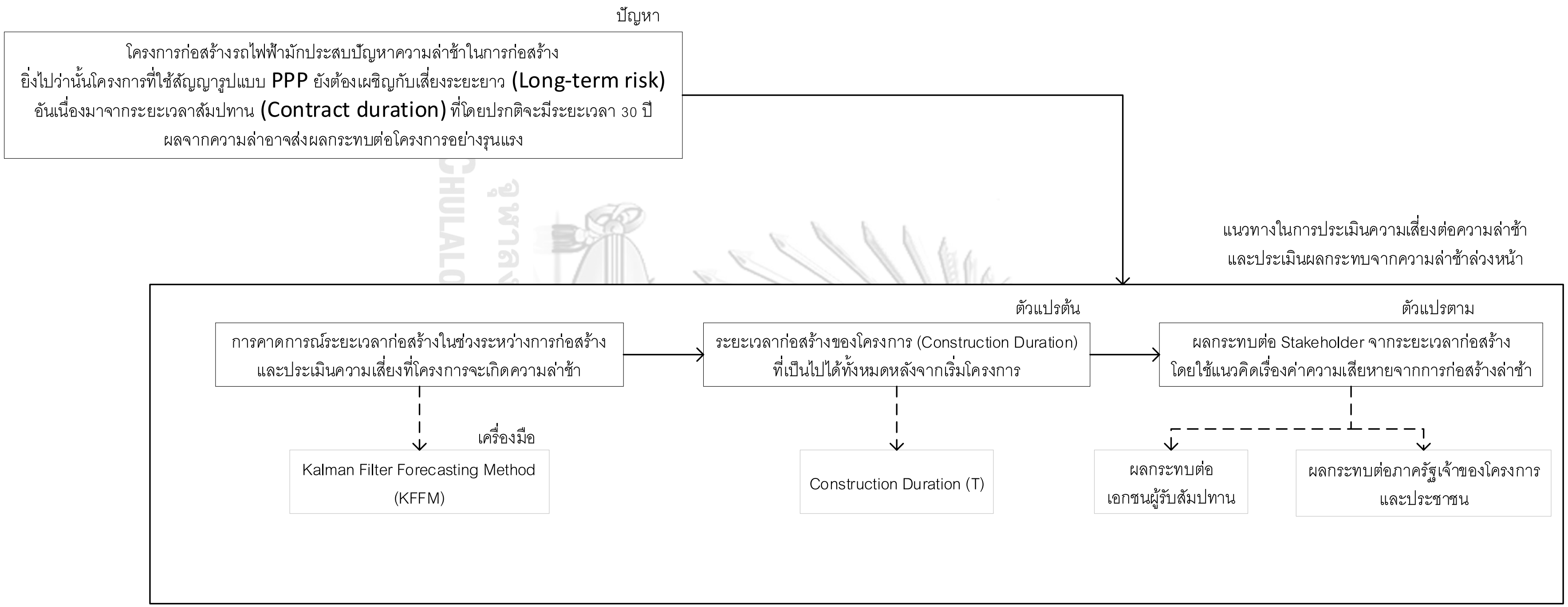
จากแนวคิดดังกล่าวสามารถตั้งสมมติฐานงานวิจัยได้ว่า ความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นโครงการร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชน (PPP) สามารถส่งผลกระทบเอกชนผู้รับสัมปทาน ภาครัฐเจ้าของโครงการ และประชาชนได้

ตัวแปรต้นของงานวิจัย คือ ระยะเวลาก่อสร้างของโครงการก่อสร้าง ซึ่งจะมีส่วนในการคำนวณผลกระทบจากความล่าช้าต่อ Stakeholder ของโครงการ เพื่อหาระยะเวลาโครงการจึงจำเป็นต้องมีการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างในช่วงระหว่างการก่อสร้าง ซึ่งผลของการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างควรมีความแม่นยำ เนื่องจากผลของการคาดการณ์ผลกระทบต่อ Stakeholder ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่คาดการณ์ได้ นอกจากนี้ประโยชน์ของการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างที่แม่นยำจะช่วยให้ผู้วิเคราะห์ ทราบถึงความเสี่ยงที่โครงการจะเกิดความล่าช้าอีกด้วย ดังนั้นเพื่อหาความเสี่ยงต่อความล่าช้าและเพื่อให้การคาดการณ์ระยะเวลามีความถูกต้องมากขึ้น วิธีการ KFFM จะถูกนำมาใช้เพื่อการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างและความเสี่ยงที่โครงการจะล่าช้าในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จะเห็นได้ว่าตัวแปรตามที่ต้องการศึกษาคือผลกระทบจากระยะเวลาก่อสร้างต่อผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ 2 ฝ่าย ประกอบด้วย ผลกระทบต่อฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทานและผลกระทบต่อฝ่ายภาครัฐเจ้าของโครงการและประชาชน ทั้งนี้ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับแต่ละฝ่ายจะแตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อกำหนดรายการผลกระทบที่เกิดขึ้นกับแต่ละฝ่าย จะใช้แนวคิดเรื่องค่าความเสียหายจากความล่าช้าในการกำหนดรายการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




*ภาพที่ 2.9 กรอบแนวคิดของงานวิจัย (Conceptual framework)*

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

## 3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา

ในส่วนของการดำเนินการศึกษาจะมีขั้นตอนในการศึกษาเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเป็นดังต่อไปนี้

1. การศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

การศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นการทำเพื่อค้นคว้าแนวคิดและทฤษฎีที่มีประโยชน์และเกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งเป็นการศึกษาจากบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้าง ตลอดจนผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อโครงการจากระยะเวลาก่อสร้าง

2. สร้างกรอบแนวความคิดและสมมติฐานงานวิจัย (Conceptual framework and hypothesis)

จากโจทย์วิจัยและผลจากการศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถนำมาสร้างกรอบแนวความคิดและสมมติฐานของการวิจัยเพื่อแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น (Predictor variables) ตัวแปรตามที่สนใจ (Dependent or response variables)

3. ศึกษาและวิเคราะห์ความเสี่ยงด้านการแล้วเสร็จของการก่อสร้าง (Completion risk) ซึ่งเป็นตัวแปรต้น ด้วยวิธี Kalman Filter Forecasting Method สำหรับพยากรณ์ระยะเวลาก่อสร้างโดยใช้ข้อมูลจากผลการรายงานความก้าวหน้าของโครงการที่กำลังดำเนินการก่อสร้างอยู่

จากสมมติฐานงานวิจัยที่กล่าวว่า ระยะเวลาก่อสร้างที่ล่าช้าของโครงการร่วมลงทุนสามารถส่งผลกระทบเอกชนผู้รับสัมปทาน ภาครัฐเจ้าของสัมปทาน และประชาชนได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวแปรต้นคือระยะเวลาก่อสร้างของโครงการ

ดังนั้นเพื่อที่จะหาตัวแปรต้นซึ่งก็คือระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ในช่วงระหว่างการก่อสร้างจึงได้ใช้วิธี Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) สำหรับพยากรณ์ระยะเวลาก่อสร้างโดยใช้ผลความคืบหน้าของโครงการเป็นข้อมูล การใช้งาน KFFM จะทำให้ผู้ใช้ทราบถึงระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้และยังทราบถึงความแปรปรวนของระยะเวลาอีกด้วย

4. สร้างตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ (Economic model) เพื่อศึกษาผลกระทบจากระยะเวลาก่อสร้างต่อเอกชนผู้รับสัมปทาน (Private) ภาครัฐ (Public) และภาคประชาชน (People)

ขั้นตอนนี้จะเป็นสร้างตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ (Economic model) เพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม และการประมาณค่าพารามิเตอร์ของโครงการ

ในขั้นตอนนี้ตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ จะถูกสร้างขึ้นเพื่อให้เห็นว่าระยะก่อสร้างส่งผลกระทบต่อฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทาน ฝ่ายภาครัฐและประชาชนที่เกี่ยวข้องกับโครงการร่วมทุนอย่างเป็นรูปธรรม ทั้งนี้การสร้างตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์จะนำแนวคิดเรื่องการกำหนดความเสียหายจากความล่าช้า (มณฑิณี ยิ่งเจริญ, 2553) ซึ่งมีลักษณะที่แปรผันไปตามระยะเวลาก่อสร้างที่ล่าช้าเกินกำหนด มาใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบในรูปแบบของตัวเงิน

5. การประเมินความเสี่ยงด้านระยะเวลาก่อสร้างและประเมินผลกระทบจากระยะเวลาความก่อสร้างของโครงการกรณีศึกษา

ขั้นตอนนี้เป็นการประยุกต์ใช้วิธี KFFM เข้ากับโครงการกรณีศึกษา เพื่อประเมินความเสี่ยงที่โครงการจะเกิดความล่าช้ารวมไปถึงคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ เพื่อใช้สำหรับประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากระยะเวลาก่อสร้าง

ทั้งนี้การประเมินความเสี่ยงด้านระยะเวลาก่อสร้าง (Completion risk) รวมไปถึงการประเมินผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แผนการก่อสร้างและความคืบหน้าของโครงการ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการประเมินความเสี่ยงด้านระยะเวลาก่อสร้างและคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างในช่วง Construction period และต้องมีการเก็บข้อมูลตามตัวแปรที่ใช้ในตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการประเมินผลกระทบที่จะเกิดขึ้น

6. อภิปรายและสรุปผลที่ได้จากงานวิจัย

### 3.2 ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย

จากการติดตามข่าวสารภายในประเทศที่เกี่ยวข้องกับโครงการรถไฟฟ้า พบว่ามีข่าวสารเป็นจำนวนมากที่กล่าวถึงความล่าช้าของโครงการก่อสร้าง นอกจากนี้ในสัญญาก่อสร้างหลาย ๆ ฉบับยังมีการกำหนดความเสียหายจากการก่อสร้างล่าช้าอีกด้วย ด้วยสาเหตุดังกล่าวทำให้เกิดความสนใจที่ศึกษาผลกระทบต่อฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทานและ ฝ่ายภาครัฐและประชาชนจากระยะเวลาก่อสร้าง

ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบต่อ Stakeholders จากระยะเวลาก่อสร้าง งานวิจัยฉบับนี้จึงมีตัวแปรที่ใช้ดังนี้

**ตัวแปรอิสระ** คือ ระยะเวลาก่อสร้างที่ล่าช้าของโครงการ ซึ่งหาได้ด้วยการใช้วิธี KFFM สำหรับคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้

**ตัวแปรตาม** คือ ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทานและฝ่ายภาครัฐและประชาชนจากระยะเวลาก่อสร้าง โดยใช้แนวคิดในการค่าเสียหายจากความล่าช้ามาใช้เป็นแนวทางในการคำนวณผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้เกี่ยวข้องกับโครงการ

### 3.3 โครงการที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงปริมาณ โดยจะเป็นการพัฒนาแนวคิด วิธีการ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างเครื่องมือและวิธีการในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้าง และประเมินผลกระทบของระยะเวลาก่อสร้างโครงการต่อ Stakeholders ในโครงการร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เนื่องจากปัจจุบันกรุงเทพมหานครกำลังมีการพัฒนาโครงการระบบขนส่งมวลชนประเภทรถไฟฟ้า ซึ่งคาดว่าจะช่วยให้บรรเทาปัญหาการจราจรติดขัดและช่วยให้การขนส่งในเขตกรุงเทพมหานครฯ มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ทำให้โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าจึงเป็นโครงการที่น่าสนใจที่จะถูกใช้เป็นกรณีศึกษา

ดังนั้นโครงการที่จะนำมาใช้เป็นกรณีศึกษา คือโครงการรถไฟฟ้าที่เป็นโครงการร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชน จำนวน 1 โครงการ เนื่องจากโครงการรถไฟฟ้าหลายโครงการกำลังอยู่ในช่วงพัฒนา อีกทั้งโครงการประเภทนี้เป็นสัญญาระยะยาวทำให้ต้องเผชิญกับความเสี่ยงในระยะยาว ซึ่งผลกระทบจากความล่าช้าที่เกิดขึ้น

### 3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความเสี่ยงด้านระยะเวลาก่อสร้าง (Completion risk) ผู้วิจัยจะมีการจัดทำหนังสือถึงผู้จัดการของโครงการที่เป็นกรณีศึกษา เพื่อขอความอนุเคราะห์ในการเข้าถึงข้อมูลที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ ซึ่งประกอบด้วยแผนการก่อสร้างและผลการรายงานความคืบหน้าของโครงการ

ในส่วนของการเก็บข้อมูลตามตัวแปรที่ใช้สำหรับการคำนวณผลกระทบ ทำได้โดยการเก็บข้อมูลทั้งแบบปฐมภูมิและทุติยภูมิ ซึ่งประกอบด้วยการสัมภาษณ์ การทำแบบสอบถาม และการขอความอนุเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจากบริษัทเอกชนผู้รับสัมปทาน และ ภาครัฐเจ้าของสัมปทาน เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบต่อไป

### 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับข้อมูลที่ได้รับจะถูกนำมาประเมินหาความเสี่ยงด้านระยะเวลาก่อสร้างและคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยวิธี Kalman Filter Forecasting Method หลังจากนั้นจะนำระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ไว้มาใช้สำหรับประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นกับ ฝ่ายภาครัฐและประชาชน และผลกระทบที่เกิดขึ้นกับฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทานต่อไป

### 3.6 การประเมิน Completion risk ในช่วงการก่อสร้าง และการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบต่อ Stakeholder ด้วย Kalman Filter Forecasting Method

Kalman Filter Forecasting Method เป็นผลงานวิจัยของ Kim (2007) และ Kim and Reinschmidth (2010) ถูกคิดค้นขึ้นเพื่อคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้าง (Project duration) ในช่วงระหว่างการก่อสร้าง ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งานทราบถึงความเสี่ยงด้าน Delay completion Risk และระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้สำหรับใช้เป็นตัวแปรต้นในการวิเคราะห์ความเชื่อมโยงของ Delay completion risk และ Project performance ของโครงการต่อไป

#### 3.6.1 การวางแผนการก่อสร้าง

การวางแผนการก่อสร้างในขั้นตอนนี้ให้ผู้ใช้งานสร้างแผนการก่อสร้างด้วยวิธี SCPM PERT หรือ Gantt Chart ก็ได้เช่นกัน เพื่อสร้าง Baseline progress curve และ หาการแจกแจงของระยะเวลาโครงการที่เป็นไปได้เพื่อใช้เป็น Prior probability distribution สำหรับการคำนวณ ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) เป็นผลเนื่องมาจากทฤษฎี Central Limit Theorem โดยในขั้นตอนนี้ผู้ใช้งานสามารถใช้โปรแกรมสำหรับการวางแผนการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก่อสร้างเช่น Primavera  Microsoft Project หรือ โปรแกรมอื่น ๆ ที่มีความสามารถในการคาดการณ์ระยะเวลาโครงการและสร้าง Baseline progress curve ได้ เช่น Microsoft Excel และ MATLAB

**3.6.2 สร้างสมการทางคณิตศาสตร์จากทฤษฎี Kalman Filter สำหรับคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้าง**

**3.6.2.1 การกำหนดค่าสถานะของระบบ**

Kim and Reinschmidth (2010) ได้ใช้ค่า Time Variation เป็นค่าสถานะของระบบที่ต้องการวัด ซึ่งค่า Time Variation ในที่นี้คือความแตกต่างระหว่างเวลาที่ทำการรายงานผลความคืบหน้า (Actual reporting time) และ Earned Schedule (ES)

ซึ่งในกรณีนี้ เวกเตอร์ของสถานะระบบ (State vector) คือ

$$x_k = \begin{Bmatrix} TV_k \\ \dfrac{dTV_k}{dt} \end{Bmatrix} \tag{3.1}$$

ซึ่งค่าอนุพันธ์ของ $TV_k$ เมื่อเทียบกับเวลาสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\frac{dTV_k}{dt} = TV_k - TV_{k-1} \tag{3.2}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**3.6.2.2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะระบบ Transition Process**

ในการหาค่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงค่าสถานะของระบบสามารถหาได้ดังสมการ

$$x_k = Ax_{k-1} + w_{k-1} \tag{3.3}$$

$A$ เรียกว่า Transition matrix เป็นค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \Delta T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.4}$$

$\Delta T$ คือ ช่วงระยะเวลาระหว่างรอบของการรายงานผล (Reporting period)

กำหนดให้ $w_k$ (Vector of random process noise) เป็น Gaussian white noise ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่มที่มีค่าเท่ากับ $w_k \sim N(0, Q_k)$

**3.6.2.3 Measurement process**

ในโครงการก่อสร้างจริง สถานภาพของโครงการสามารถประมาณค่าที่จะถูกวัดและแปลงให้เป็น Time Variation (TV) เพื่อนำมาใช้ใน Measurement process ดังสมการต่อไปนี้

$$z_k = Hx_k + v_k \tag{3.5}$$

ซึ่ง $z_k$ และ $H$ คือ เวกเตอร์ของการวัด (Measurement vector) และเมทริกซ์สังเกตการณ์ (Observation matrix) ตามลำดับ สำหรับสิ่งที่ต้องการวัดค่า คือ Time Variation (TV) ซึ่งเป็นปริมาณสเกล่า ดังนั้น $z_k$ เป็นเมทริกซ์ขนาด 1x1 และเวกเตอร์ $H$ มีค่าเท่ากับ $\{1 \quad 0\}$

$v_k$ เป็นตัวแปรสุ่มของความผิดพลาดในการวัดมีค่าเท่ากับ $v_k \sim N(0, \sigma_{v_k}^2)$ ซึ่ง $\sigma_{v_k}^2$ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

ค่าที่สูงที่สุดของตัวแปรสุ่ม $v_k = a$

ค่าที่ต่ำที่สุดของตัวแปรสุ่ม $v_k = -a$

$$\sigma_{v_k}^2 = \left[\frac{a-(-a)}{6}\right]^2 \tag{3.6}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$R$ (Measurement error) ซึ่งเป็นจำนวนสเกล่า (Scalar quantity) ที่มีค่าเท่ากับ $\sigma_{v_k}^2$ เนื่องจาก Measurement vector เป็นเมทริกซ์ขนาด 1 x 1

ทั้งนี้การหาค่า $R$ (Measurement error) เป็นส่วนที่ต้องอาศัยประสบการณ์ในระดับหนึ่ง เนื่องจากบางครั้งผู้ใช้งานเก็บข้อมูลรายวัน แต่ทำการรายงานความคืบหน้าที่วันสุดท้ายของเดือน ซึ่งจะเกิดความผิดพลาดขึ้นเนื่องจากในแต่ละเดือนจะมีจำนวนวันที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นรายงานความคืบหน้าแต่ละครั้งควรรายงานในช่วงที่มีระยะห่างเท่ากัน เช่น รายงานผลทุก 1 สัปดาห์หรือทุก 4 สัปดาห์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดปริมาณอีกเช่น ดังนั้นเพื่อที่จะหาค่า $R$ (Measurement error) ทั้งนี้ Kim (2007) แนะนำว่าผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่า $R$ (Measurement error) ได้ตามวิจารณญาณของตน

**3.6.2.4 ค่าประมาณของสถานะ (State estimate) และ ค่าความแปรปรวนร่วมของความผิดพลาด (Error covariance)**

วิธีการ Kalman filter มีตัวแปรที่ใช้สำหรับการประมาณสถานะของระบบ 2 ตัวแปรด้วยกัน ประกอบด้วย $\hat{x}_k$ หรือ ค่าประมาณของสถานะ (State estimate) และ $P_k$ (Error covariance) ซึ่งค่าของตัวแปรทั้ง 2 จะถูกคาดการณ์ในช่วงก่อนและถูกปรับปรุงหลังการวัดค่าสถานะ $z_k$ ดังนั้นเพื่อไม่เกิดความสับสนระหว่างตัวแปรของค่าประมาณก่อนการวัดและค่าประมาณที่ถูกปรับปรุงหลังการวัด จึงจำเป็นต้องกำหนดตัวแปรเพิ่มประกอบด้วย 1. กลุ่มค่าของตัวแปรก่อนการวัดซึ่งมี Prior state estimate แทนค่าด้วย $\hat{x}_k^-$ และ Prior error covariance ซึ่งแทนค่าด้วยตัวแปร $P_k^-$ และ 2. กลุ่มค่าของตัวแปรหลังการวัดค่าสถานะซึ่งมี Posterior state estimate แทนค่าด้วยตัวแปร $\hat{x}_k^+$ และ Posterior error covariance ซึ่งแทนค่าด้วยตัวแปร $P_k^+$

ก่อนที่จะเริ่มการสังเกตค่า $z_k$ จะต้องมีการประมาณค่าของสถานะก่อน ซึ่งค่าประมาณนี้แทนด้วยตัวแปร $\hat{x}_k^-$ และสามารถประมาณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\hat{x}_k^- = A_k \hat{x}_{k-1} \tag{3.7}$$

ณ จุดนี้ผู้อ่านจะเห็นได้ว่าพจน์ $w_{k-1}$ ไม่มีอยู่ในสมการ ซึ่งสาเหตุที่ไม่นำ $w_{k-1}$ มาใช้ในการคำนวณ เนื่องจากว่าในความเป็นจริงผู้ใช้งานไม่สามารถทราบค่า $w_{k-1}$ ได้เลยว่าเป็นจำนวนเท่าไหร่ในขณะที่ทำการคาดการณ์ ดังนั้นจึงเป็นต้องใช้ค่าคาดหวัง (Expected Value) ของ $w_k$ มาใช้ในการคำนวณ ทั้งนี้จากคุณสมบัติของ Gaussian white noise ที่ว่า $w_k \sim N(0, \mathrm{Q}_k)$ จึงทำให้ $E[w_k] = 0$

เนื่องจากการคาดการณ์สามารถเกิดความผิดพลาดได้จึงต้องทำการกำหนดค่า Prior error covariance ( $P_k^-$ ) ซึ่งเป็นตัวแทนของความผิดพลาดในการประมาณค่าสถานะของระบบ โดย $P_k^-$ หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$P_k^- = A_k P_{k-1}^+ A_k^T + Q_{k-1} \tag{3.8}$$

หลังจากที่ทำการหา Prior state estimate ( $\hat{x}_k^-$ ) และ Prior error covariance ( $P_k^-$ ) เรียบร้อยแล้วต่อไปจะเป็นการประมาณค่า Posterior state estimate ( $\hat{x}_k^+$ ) ที่คาดว่าน่าจะเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริง เกิดจากการถูกปรับปรุงด้วย Measurement vector ( $z_k$ ) ซึ่งค่าของ $\hat{x}_k^+$ สามารถหาได้จากสมการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$\hat{x}_k^+ = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-) \quad (3.10)$$

จากสมการดังกล่าว จะเห็นได้ว่าค่าประมาณของสถานะหลังจากการปรับปรุงจะขึ้นอยู่กับพจน์ $K_k(z_k - H\hat{x}_k^-)$ โดย พจน์ $z_k - H\hat{x}_k^-$ จะเรียกว่า Measurement innovation หรือนักวิจัยบางท่านจะเรียกว่า Residual ซึ่งค่าของพจน์นี้จะเป็นการอุปนัยว่าค่าที่วัดได้กับค่าที่คาดการณ์ไว้ก่อนหน้านี้แตกต่างกันเท่าไหร่ อย่างไรก็ตาม Residual ยังถูกควบคุมด้วยตัวแปร $K_k$ ซึ่งที่มีชื่อเรียกว่า Kalman gain โดยตัวแปร $K_k$ สามารถหาได้จากสมการ

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \quad (3.11)$$

เนื่องจาก Kalman gain เป็นเมทริกซ์ที่มีวัตถุไว้เพื่อให้น้ำหนักกับค่า Measurement นั่นหมายความว่า ถ้า $K_k$ เข้าใกล้ 0 หมายความว่าการประมาณค่า Posterior state estimate ( $\hat{x}_k^+$ ) ในครั้งนั้นมีแนวโน้มไปทาง Prior state estimate

ถ้า $K_k$ เข้าใกล้ 1 หมายความว่า การประมาณค่า Posterior state estimate ( $\hat{x}_k^+$ ) ในครั้งนั้นมีแนวโน้มไปทางค่า Measurement vector

หลังจากที่ทราบค่า Kalman gain แล้วสามารถนำ $K_k$ ไปใช้ในการคำนวณ Posterior error covariance ( $P_k^+$ ) ได้โดยใช้สมการ

$$P_k^+ = (I - K_k H)P_k^- \quad (3.12)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**3.6.2.5 การเริ่มต้นใช้งาน Kalman Filter**

เนื่องจากว่า Kalman filter เป็นอัลกอริทึมแบบเวียนเกิด (Recursive algorithm) ดังนั้นการกำหนดค่าของตัวแปรที่ใช้เพื่อเริ่มต้นการคำนวณจึงเป็นสิ่งสำคัญ

ก่อนที่จะเริ่มการคำนวณตัวแปรสำคัญที่ต้องกำหนดค่าให้ถูกต้องประกอบด้วย $\hat{x}_0$ (Initial state estimate) $P_0$ (Initial error covariance matrix) ซึ่งทั้ง 2 ค่านี้จะถูกกำหนดให้ 0 และ $Q_k$ (Covariance matrix of process noise) จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น

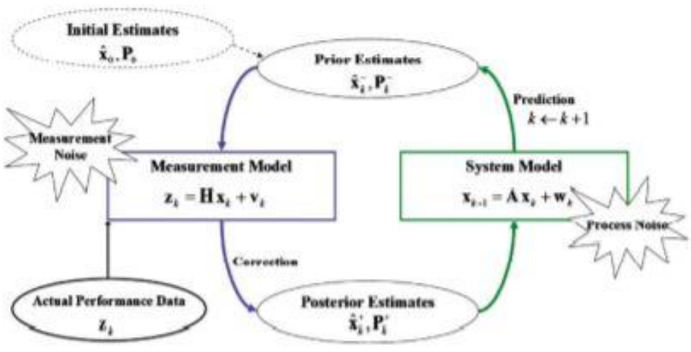
$$Q_k = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & q \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

ทั้งนี้ Kim and Reinschmidth (2010) ระบุว่าค่าของตัวแปร $q$ (Variance of state variable) ซึ่งอยู่ภายในเมทริกซ์ $Q_k$ (Covariance matrix of process noise) จะมีค่าคงที่ตลอดเวลาเนื่องจาก ยังไม่มีข้อมูลหรืองานวิจัยที่สนับสนุนว่าตัวแปร $q$ ในจะเปลี่ยนไปตามระยะเวลาต่าง ๆ

สำหรับวิธี KFFM ค่า $q$ Variance of state variable จะค่าเท่ากับความแปรปรวน (Variance) ของระยะเวลาก่อสร้าง T แทนด้วย $\sigma_T^2$ ดังนั้นเมทริกซ์ Priori error covariance $P_k^-$ ที่ k=1 มีค่าเป็น

$$P_1^- = Q_k = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \sigma_T^2 \end{bmatrix} \qquad (3.17)$$

หลังจากที่มีการกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อเริ่มต้นใช้งาน KFFM แล้ว การคำนวณในครั้งถัดไปสามารถคำนวณได้ตามวัฏจักรดังภาพที่ 3.1 อย่างไรก็ตามยังมีประเด็นที่น่าสนใจสำหรับการใช้งาน KFFM คือช่วงระยะเวลาระหว่างการรายงานความคืบหน้าแต่ละครั้ง จากการศึกษาเอกสารของ Kim and Reinschmidth (2010) ไม่มีการระบุว่าช่วงระยะเวลาระหว่างการรายงานความคืบหน้าแต่ละครั้งที่เหมาะสมเป็นเท่าไหร่ แต่มีการระบุว่าควรจะมีช่วงระยะห่างเท่ากันในแต่ละครั้ง เช่น ประเมินผลความคืบหน้าทุก 7 วัน 15 วัน หรือทุก ๆ 4 สัปดาห์เป็นต้น




*ภาพที่ 3.1 วัฏจักรในการคำนวณของวิธี Kalman Filter Forecasting Method*

*(ที่มา: Kim and Reinschmidth, 2010)*

**3.6.2.6 การคาดการณ์ระยะเวลาที่โครงการจะก่อสร้างแล้วเสร็จ**

เนื่องจากจุดประสงค์ที่ต้องการคือการคาดการณ์ระยะเวลาที่โคงการจะแล้วเสร็จ (Estimation duration at completion หรือ EDAC) ที่การใช้งาน KFFM ครั้งที่ $k$ ใด ๆ ผลจากการใช้งาน KFFM จะได้ผลคือค่า Time variation (TV) ซึ่งเป็นค่าประมาณของสถานะระบบซึ่งยังไม่ใช่ EDAC แต่อย่างใด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำค่า $TV_k^+$ ($TV_k^+$ คือพจน์ที่ $a_{11}$ ของเมตริกซ์สถานะ $\hat{x}_k^+$) มาใช้ในการหา EDAC ด้วยวิธี Earned schedule ดังสมการต่อไปนี้

$$EDAC_k = \frac{PD}{ES_k^+ / t_k} \tag{3.18}$$

$$ES_k^+ = TV_k^+ + t_k \tag{3.19}$$

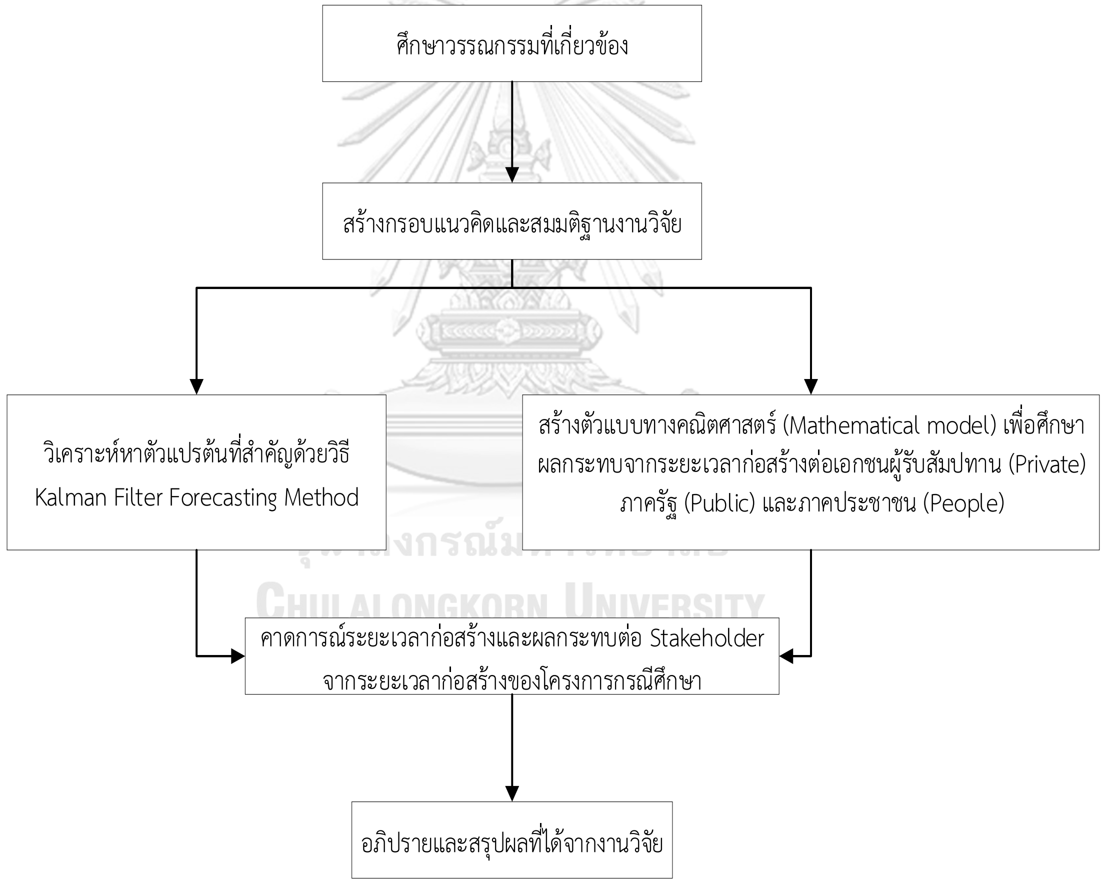
นอกจากนี้ยังสามารถหาค่าความแปรปรวน (Variance) ของเวลา $EDAC_k$ ด้วยค่า $\sigma_T^2$ ที่เป็นพจน์ในตำแหน่งที่ $a_{22}$ ของเมตริกซ์ $P_k^+$ (Posterior error covariance) อีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**3.7 สรุป**

บทที่ 3 นี้ว่าด้วยวิธีการดำเนินงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วย 6 หัวข้อต่อไปนี้ ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย โครงการที่ใช้เป็นกรณีศึกษา การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการประเมิน Completion risk ในระหว่าง construction period และการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบต่อ Stakeholder ด้วย Kalman filter Forecasting Method (KFFM) โดยแต่ละหัวข้อจะมีเนื้อความดังนี้

1. ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา




*ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา*

2. ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย เป็นการเลือกตัวแปรที่ใช้สำหรับงานวิจัย ซึ่งจากสมมติฐานที่ว่าความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการร่วมทุน สามารถส่งผลกระทบเอกชนผู้รับสัมปทาน ภาครัฐเจ้าของสัมปทาน และประชาชนได้ สามารถกำหนดตัวแปรได้ดังนี้

ตัวแปรอิสระ คือ ระยะเวลาก่อสร้างที่ล่าช้าของโครงการ

ตัวแปรตาม คือ ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทานและฝ่ายภาครัฐและประชาชนจากระยะเวลาก่อสร้าง

3. โครงการที่ใช้เป็นกรณีศึกษาจะเป็นโครงการระบบขนส่งประเภทรถไฟฟ้า เนื่องจากปัจจุบันในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีการพัฒนาระบบขนส่งประเภทรถไฟฟ้าหลายโครงการเพื่อลดการจราจรติดขัดและเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่ง ทำให้เป็นโครงการที่น่าสนใจที่จะนำมาเป็นกรณีศึกษา

4. การเก็บรวบรวมข้อมูลจะแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือ (1) การเก็บข้อมูลสำหรับการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยวิธี KFFM ทำได้โดยการขอความอนุเคราะห์ข้อมูลจากผู้รับเหมาของโครงการ (2) การเก็บข้อมูลตามตัวแปรที่ใช้สำหรับการคำนวณผลกระทบ ทำได้โดยการเก็บข้อมูลทั้งแบบปฐมภูมิและทุติยภูมิ เช่นการสัมภาษณ์ รวมไปถึงการขอความอนุเคราะห์ข้อมูลจากเอกชนและหน่วยงานรัฐผู้รับผิดชอบโครงการ

5. การวิเคราะห์ผล เป็นการนำข้อมูลที่ได้มาใช้คาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยวิธี Kalman Filter Forecasting Method และวิเคราะห์ผลกระทบต่อฝ่ายเอกชนผู้รับทาน ฝ่ายภาครัฐและประชาชน ด้วยตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อให้รูปอยู่รูปของตัวเงิน

6. การประเมิน Completion risk ในระหว่างการก่อสร้าง และการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบต่อฝ่ายเอกชนผู้รับทาน ฝ่ายภาครัฐและประชาชน ด้วย Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) ส่วนนี้จะเป็นการอธิบายถึงแนวทางในการใช้งานวิธี KFFM เพื่อหาระยะเวลาสำหรับการคำนวณผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อ Stakeholder ดังกล่าว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 4
# แนวทางในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างและประเมินความเสี่ยงในการเกิดความล่าช้าในการก่อสร้างก่อสร้างของโครงการ ด้วยวิธี Kalman Filter Forecasting Method เพื่อนำไปใช้สำหรับการคาดการณ์ผลกระทบต่อผู้มีส่วนได้เสีย

Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) เป็นเครื่องมือที่ถูกพัฒนาโดย Kim (2007) และ Kim and Reinchmidth (2010) ซึ่งวิธีการ KFFM จะเป็นการประยุกต์โดยรวบรวมจุดเด่นของวิธี Earned Schedule ซึ่งมีความสามารถในการติดตามความคืบหน้าของโครงการและคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างในรูปแบบ single point estimate และ Kalman Filter ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีคุณสมบัติในการปรับปรุงข้อมูลที่อาจมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในการเก็บข้อมูล รวมไปถึงการอัพเดท probability distribution ในแต่ละครั้งที่ทำการใช้งาน ดังนั้น KFFM จึงมีความสามารถคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างในรูปของ probability distribution ซึ่งมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาก่อสร้างที่ถูกปรับปรุงในทุกครั้งที่ทำการใช้งาน

ด้วยคุณสมบัติข้างต้นจึงทำให้ผู้วิจัยเลือกที่จะนำมาใช้เป็น Dynamic risk monitoring tool เพื่อใช้สำหรับการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้และประเมินความเสี่ยงต่อความล่าช้าในการก่อสร้างในแต่ละช่วงเวลา รวมไปถึงนำไปใช้ในการประเมินมูลค่าผลกระทบต่อผู้มีส่วนได้เสียที่อาจเกิดขึ้นจากความเสี่ยงที่การก่อสร้างจะล่าช้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะเป็นทดสอบการใช้งาน KFFM กับโครงการจำลองและโครงการจริงที่ส่งมอบแล้ว เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการคำนวณ และเพื่อศึกษาข้อดีรวมไปถึงสิ่งที่ควรคำนึงในการใช้งาน KFFM ก่อนที่จะมีการนำไปใช้กับโครงการกรณีศึกษา

### 4.1 แนวทางในการใช้งาน Kalman Filter Forecasting Method

ในการใช้งาน Kalman Filter Forecasting Method จำเป็นต้องมีข้อมูลที่สำคัญดังนี้ (1) รายงานความคืบหน้าของโครงการ (Project progress curve หรือ S-curve) (2) ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของระยะก่อสร้างของโครงการ เมื่อมีข้อมูลครบถ้วนตามที่ต้องการแล้ว สามารถคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างโครงการได้โดยทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. สร้าง Baseline S-Curve และ หาระยะเวลาที่เป็นไปได้ทั้งหมดของโครงการ รวมไปถึงค่าความผิดพลาดในการวัดด้วยเครื่องมือในการวางแผนโครงการเช่น PERT, SCPM หรือ ด้วยการคาดการณ์ของผู้ที่มีประสบการณ์

2. คำนวณค่า $\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1}$ และ $P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q_{k-1}$ (3.7), (3.8)

3. ทำการวัดความคืบหน้าโครงการ แล้วแปลงให้อยู่ในรูป Time Variance (TV)

4. คำนวณค่า $z_k = Hx_k - v_k$ (3.5)

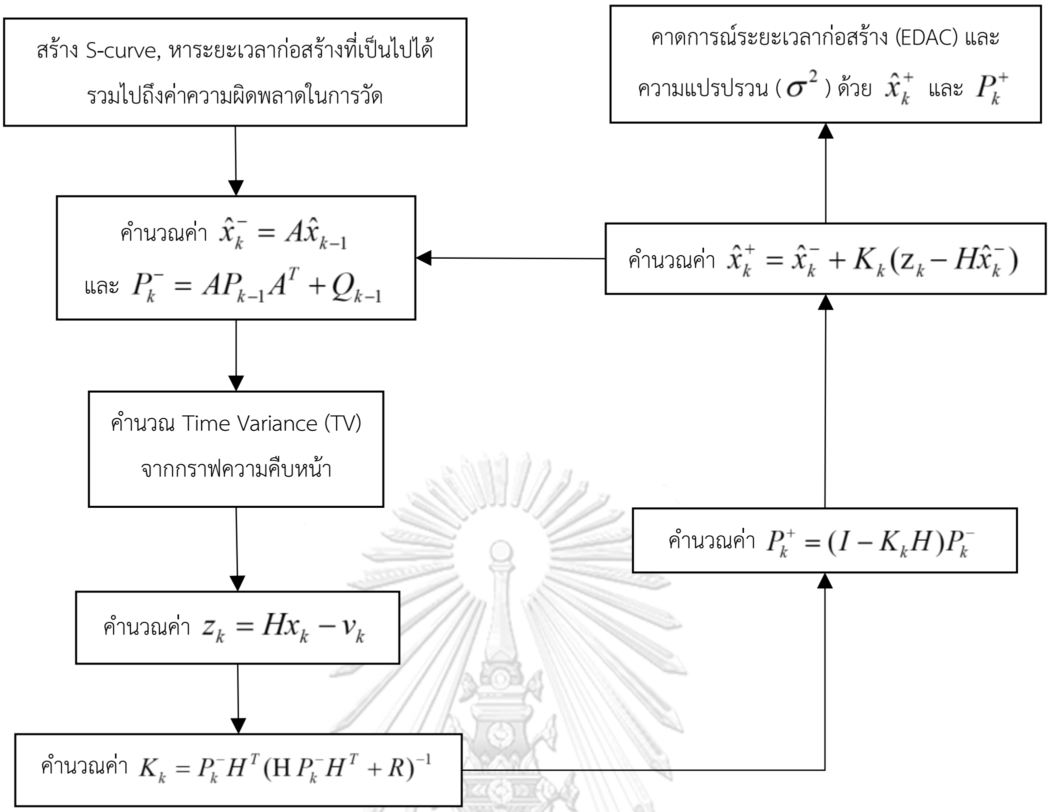
5. คำนวณค่า $K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1}$ (3.11)

6. คำนวณค่า $\hat{x}_k^+ = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-)$ (3.10)

7. คำนวณค่า $P_k^+ = (I - K_k H)P_k^-$ (3.12)

8. คาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้าง (EDAC) และความแปรปรวน ( $\sigma^2$ ) ด้วยค่า $\hat{x}_k^+$ และ $P_k^+$

ในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้าง และความแปรปรวนของระยะเวลาก่อสร้างด้วย KFFM ในครั้งถัดไป ให้นำค่าที่ได้จาก ขั้นตอนที่ 6 และ 7 ไปแทนค่าในขั้นตอนที่ 2 จากนั้นจึงทำขั้นตอนที่ 3 ถึงขั้นตอนที่ 7 อีกครั้ง (ภาพที่ 4.1) ทั้งนี้จะกำหนดให้ค่า $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ และ $P_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ เนื่องจากเวลาเท่ากับ 0 เป็นช่วงของการเริ่มต้นของโครงการ จึงอนุมานได้ว่าในเวลาดังกล่าวจะไม่มีความผิดพลาดใด ๆ เกิดขึ้น ซึ่งผลจากการการทำตามขั้นตอนดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงระยะเวลาก่อสร้างโดยประมาณ รวมไปถึงความน่าจะเป็นที่โครงการจะแล้วเสร็จได้ทันเวลาเช่นกัน

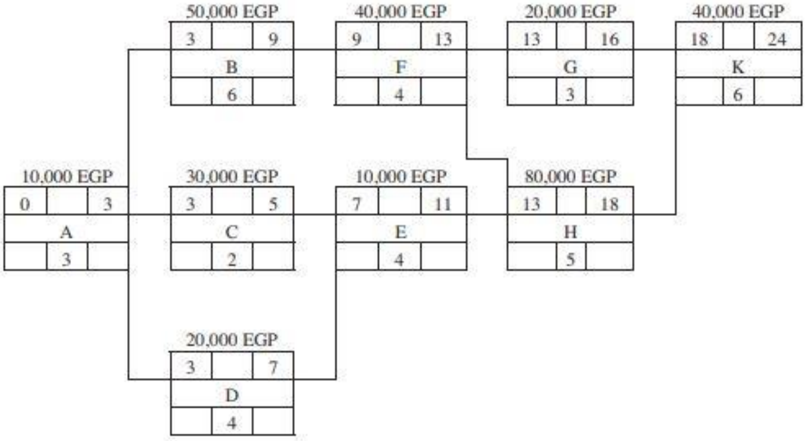



*ภาพที่ 4.1 ลำดับการคำนวณเพื่อคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างและค่าความแปรปรวนของระยะเวลา*

### 4.2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณระหว่างผู้วิจัยและผู้ใช้งาน KFFM ท่านอื่น

เนื่องจาก Kalman Filter Forecasting Method เป็นเครื่องมือที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่และยังไม่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ดังนั้นในส่วนนี้ผู้วิจัยจึงจะทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณของผู้วิจัยกับผู้ใช้งานท่านอื่นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการคำนวณ (ขั้นตอนในการคำนวณสามารถดูได้ในภาคผนวก ค)

สำหรับตัวอย่างผู้วิจัยนำข้อมูลจากงานวิจัยของ Abdel Azeem et al. (2014) ที่ได้ศึกษาวิธีการใช้งาน Kalman Filter Forecasting Method โดยใช้โครงการจำลองซึ่งมีแผนกำหนดการก่อสร้างและมีมูลค่าของกิจกรรมเป็นค่าเงินอียิปต์ (EGP = Egyptian Pound) ดังภาพที่ 4.2




*ภาพที่ 4.2 แผนกำหนดการก่อสร้าง (ที่มา: Abdel Azeem et al., 2014)*

จากภาพที่ 4.2 สรุปได้ว่าโครงการข้างต้นคาดว่าจะใช้ระยะเวลาก่อสร้างทั้งหมด 24 วัน ทั้งนี้จากขั้นตอนการคำนวณ Kalman Filter Forecasting Method จะต้องทราบถึงระยะเวลาก่อสร้างโดยเฉลี่ย $\mu_T$ และความแปรปรวนของระยะเวลาก่อสร้าง $\sigma_T$ ซึ่งสามารถประเมินได้ด้วยบุคคลที่มีประสบการณ์ หรือหาได้จากสมการของ PERT ดังต่อไปนี้

$$\mu_T = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (4.1)$$

$$\sigma_T = \frac{b - a}{6} \quad (4.2)$$

$\mu_T$ = ระยะเวลาก่อสร้างโครงการโดยเฉลี่ย

$\sigma_T$ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาก่อสร้างโครงการ

$a$ = ระยะเวลาก่อสร้างที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้

$m$ = ระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้มากที่สุด

$b$ = ระยะเวลาก่อสร้างที่มากที่สุดที่เป็นไปได้

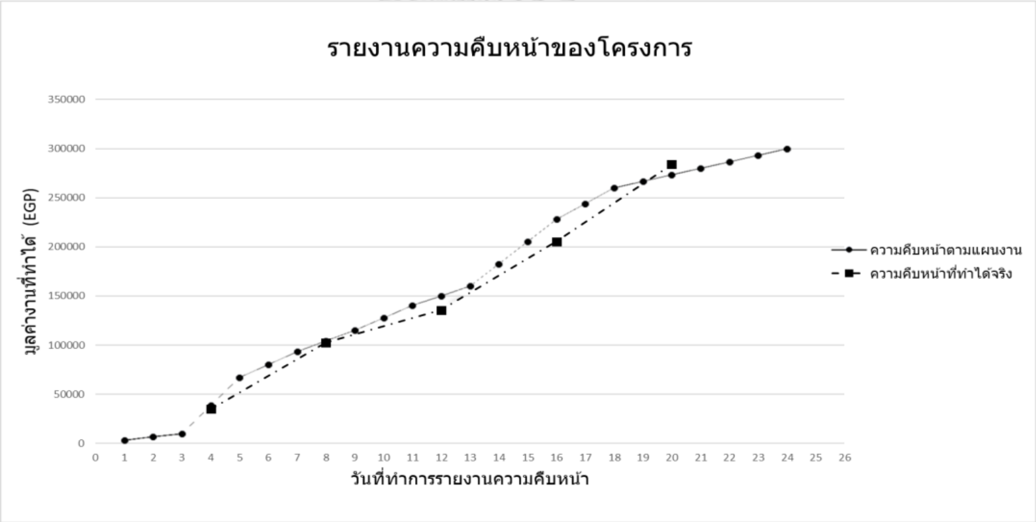
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในกรณีของโครงการตัวอย่างเนื่องจากไม่มีข้อมูลที่เพียงพอ จะประมาณค่า $a = 0.95(PD)$ และค่า $b = 1.05(PD)$ โดยอ้างอิงจากเอกสารของ (Abdel Azeem et al., 2014; Hasazandeh et al., 2016) ดังนั้นระยะเวลาก่อสร้างโดยเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโครงการตัวอย่างจะมีระยะเวลาดังนี้

$$\mu_T = \frac{0.95(24) + 4(24) + 1.05(24)}{6} = 24 \text{ วัน}$$

$$\sigma_T = \frac{1.05(24) - 0.95(24)}{6} = 0.4 \text{ วัน}$$

ต่อมากำหนดให้ค่า $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ และ $P_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ สาเหตุที่ค่าดังกล่าวเป็น 0 เนื่องจากในเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเริ่มต้นของโครงการซึ่งเป็นช่วงที่ถือว่าโครงการยังไม่มีความผิดพลาดใด ๆ เกิดขึ้น (Kim, 2007; Kim and Reinschmidth, 2010) และโครงการมีผลรายงานความคืบหน้าดังภาพที่ 4.3 และตารางที่ 4.1




*ภาพที่ 4.3 รายงานความคืบหน้าของโครงการจำลอง*

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.1 รายงานความคืบหน้า ณ ช่วงวันที่ทำการใช้งาน KFFM

| ความคืบหน้าของโครงการ | วันที่ 4 ($t$=4) | วันที่ 8 ($t$=8) | วันที่ 12 ($t$=12) | วันที่ 16 ($t$=16) | วันที่ 20 ($t$=20) |
|---|---|---|---|---|---|
| ผลรวมมูลค่าที่ทำได้ (EV) | 35000 EGP | 102665 EGP | 135665 EGP | 205400 EGP | 276000 EGP |
| มูลค่างานตามแผน (PV) | 38333 EGP | 104167 EGP | 150000 EGP | 228000 EGP | 273333 EGP |

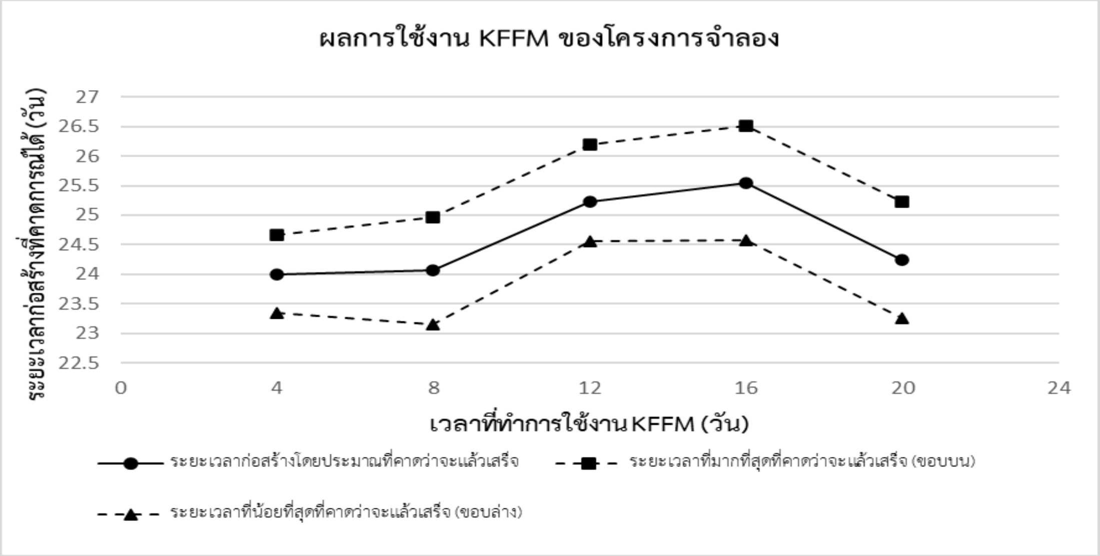
ในการคำนวณผู้วิจัยจะแทนค่า $v_k$ ด้วย 0 เพื่อควบคุมผลการคำนวณ เนื่องจาก $v_k$ เป็นตัวแปรสุ่มที่มีค่าเท่ากับ $v_k \sim N(0,\sigma^2)$ ดังนั้นการแทนค่าด้วย 0 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มจะทำให้ผลการคำนวณ $z_k$ ไม่ได้รับอิทธิพลจากค่าของตัวแปรสุ่ม $v_k$ อย่างไรก็ตามในการใช้งานหากคาดว่ามีความผิดพลาดในการวัดค่า $TV$ ผู้ใช้งานสามารถรวมค่าของตัวแปรสุ่ม $v_k$ เข้าไปในสมการด้วย

แต่หากคาดว่าการวัดข้อมูลมีความแม่นยำมากจนไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นก็สามารถละเลยตัวแปรสุ่ม $v_k$ ได้ (Kim, 2007)

เมื่อทำการคำนวณด้วยวิธี Kalman Filter Forecasting Method จนครบ 5 ครั้งแล้ว สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.2 และแสดงให้เห็นเป็นแผนภาพในภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยการใช้ KFFM โดยผู้วิจัย

| ครั้งที่ | วันที่ทำการใช้ KFFM (นับจากวันที่เริ่มต้นการก่อสร้าง) | ระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้จาก KFFM ($EDAC_{k,t}$) | ความแปรปรวนของ $EDAC_{k,t}$ (Variance-$EDAC_{k,t}$) | ขอบบน (Upper bound) | ขอบล่าง (Lower bound) |
|---|---|---|---|---|---|
| $k$ = 1 | $t$ = 4 | 24 | 0.1600 | 24.66 | 23.34 |
| $k$ = 2 | $t$ = 8 | 24.06 | 0.2979 | 24.96 | 23.15 |
| $k$ = 3 | $t$ = 12 | 25.22 | 0.3469 | 26.19 | 24.56 |
| $k$ = 4 | $t$ = 16 | 25.55 | 0.3477 | 26.52 | 24.58 |
| $k$ = 5 | $t$ = 20 | 24.24 | 0.3538 | 25.22 | 23.26 |




*ภาพที่ 4.4 ผลการใช้งาน KFFM ของโครงการจำลอง*

การตรวจสอบความถูกต้องของคำนวณสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบกับผลจากการใช้เครื่องมือ Kalman Filter Forecasting Method กับโครงการเดียวกันกับของ Abdel Azeem et al. (2014)

โดยผลการคำนวณของ Abdel Azeem et al. (2014) จะอยู่ในตารางที่ 4.3 และการเปรียบเทียบผลการใช้งานระหว่างผู้วิจัยและ Abdel Azeem et al. (2014) ถูกบันทึกไว้ในตาราง 4.4

ผลจากการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการคำนวณพบว่า ผลการคำนวณของผู้วิจัยและผลการคำนวณของ Abdel Azeem et al. (2014) จะอยู่ในช่วงระหว่าง 1-4% ผลต่างที่เกิดขึ้นคาดว่าเกิดจากค่า $v_k$ เนื่องจาก $v_k$ เป็นตัวแปรสุ่มของค่าความผิดพลาดในการวัด ซึ่งมีค่าเป็น $v_k \sim N(0,\sigma^2)$ และผู้วิจัยได้สมมติให้ $v_k = 0$ มาใช้ในการพิจารณาความถูกต้องในการคำนวณด้วย เพื่อให้การคำนวณไม่ได้รับผลจากตัวแปรสุ่มขอค่าความผิดพลาดในการวัด $v_k$ แต่อย่างไรก็ตามในการคำนวณจริงให้ผู้ใช้งานควรรวมตัวแปรสุ่มดังกล่าวในสมการด้วย

ตารางที่ 4.3 ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วย KFFM โดย Abdel Azeem et al. (2014)

| การใช้ KFFM ครั้งที่ | วันที่ทำการใช้ KFFM (นับจากวันที่เริ่มต้นการก่อสร้าง) | ระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้ ($EDAC_{k,t}$) | ขอบบนของช่วงระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ ($EDAC_{k,t}$ Upper bound) | ขอบล่างของช่วงระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ ($EDAC_{k,t}$ Lower bound) |
|---|---|---|---|---|
| $k$ = 1 | $t$ = 4 | 24.08 | 24.75 | 23.41 |
| $k$ = 2 | $t$ = 8 | 24.26 | 24.9 | 23.62 |
| $k$ = 3 | $t$ = 12 | 24.5 | 25.24 | 23.76 |
| $k$ = 4 | $t$ = 16 | 24.71 | 25.4 | 24.02 |
| $k$ = 5 | $t$ = 20 | 23.3 | 23.95 | 22.65 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการใช้งาน KFFM ระหว่างผู้วิจัยและ Abdel Azeem et al. (2014)

| ครั้งที่ | วันที่ทำการใช้ KFFM (นับจากวันที่เริ่มต้นการก่อสร้าง) | ระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้ ( $EDAC_{k,t}$ ) Abdel Azeem et al. (2014) | ระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้ ( $EDAC_{k,t}$ ) โดยผู้วิจัย | ร้อยละของความคลาดเคลื่อนของ $EDAC_{k,t}$ |
|---|---|---|---|---|
| $k$ = 1 | $t$ = 4 | 24.08 | 24 | 0.33 |
| $k$ = 2 | $t$ = 8 | 24.26 | 24.06 | 0.83 |
| $k$ = 3 | $t$ = 12 | 24.50 | 25.22 | 2.96 |
| $k$ = 4 | $t$ = 16 | 24.71 | 25.55 | 3.39 |
| $k$ = 5 | $t$ = 20 | 23.30 | 24.24 | 4.02 |

สำหรับผลการประเมินเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาก่อสร้างที่เร็วที่สุดและช้าที่สุดที่เป็นไปได้ ผู้วิจัยได้ใช้ค่าความเชื่อมั่น 90% เพื่อให้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Azeem พบว่าจากตารางที่ 4.5 ผลการคำนวณของผู้วิจัยมีความคลาดเคลื่อนจากของ Azeem อยู่ในช่วงร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 6

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลระยะเวลาก่อสร้างที่เร็วที่สุดและช้าที่สุดที่คาดการณ์ด้วย KFFM ระหว่างผู้วิจัยและ Abdel Azeem et al. (2014)

| การใช้ KFFM ครั้งที่ | เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาก่อสร้างที่เร็วที่สุดที่เป็นไปได้ (ขอบบน) ผู้วิจัยเปรียบเทียบกับ Abdel Azeem et al., (2014) | เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาก่อสร้างที่ช้าที่สุดที่เป็นไปได้ (ขอบล่าง) ผู้วิจัยเปรียบเทียบกับ Abdel Azeem et al., (2014) |
|---|---|---|
| $k$ = 1 | 0.36 | 0.30 |
| $k$ = 2 | 0.24 | 1.99 |
| $k$ = 3 | 3.76 | 3.37 |
| $k$ = 4 | 4.41 | 2.33 |
| $k$ = 5 | 5.30 | 2.69 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

### 4.4 การศึกษาการใช้งาน KFFM กับโครงการจริง

โครงการที่ผู้วิจัยนำมาใช้ในการศึกษาคืออาคาร Gaysorn 2 ซึ่งเป็นโครงการอาคารสำนักงานสูง 31 ชั้นรวมชั้นใต้ดิน 1 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 65,000 ตารางเมตร มูลค่างานทั้งหมดประมาณ 1,800 ล้านบาท โดยมีบริษัท เกสร พร็อพเพอร์ตี้ จำกัด เป็นเจ้าของโครงการ

ข้อมูล Progress report ของโครงการได้ระบุว่า โครงการนี้มีระยะเวลาก่อสร้างตามแผนเป็นเวลา 28 เดือน ซึ่งโครงการนี้ใช้เวลา 37 เดือนในการก่อสร้างจนแล้วเสร็จ ดังกล่าวดังภาพที่ 4.4

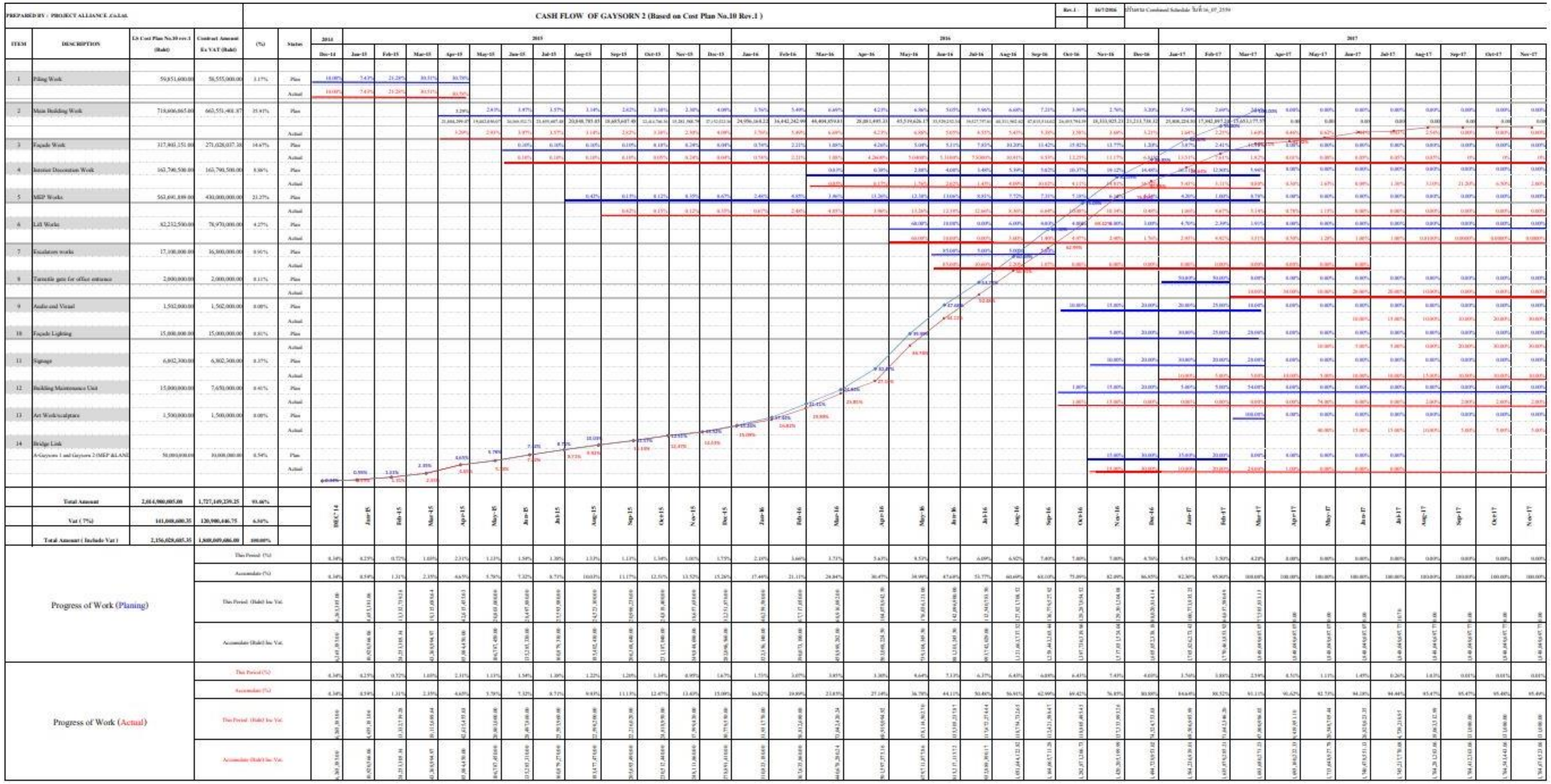
โดยไพบูลย์ วงศ์นิธิสมบูรณ์ (2564) ซึ่งมีตำแหน่งเป็นผู้จัดการโครงการในขณะนั้นได้ให้ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการใช้งาน KFFM โดยสามารถสรุปตัวแปรต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

| **ชื่อของตัวแปร** | **ค่าของตัวแปร** |
|---|---|
| Initial State Vector | $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ |
| Initial error covariance matrix | $P_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ |
| Transition matrix | $A = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ |
| Process noise covariance matrix | $Q_k = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0.25 \end{bmatrix}$ |
| Vector of Random Measurement | $v_k \sim N(0, 0.024)$ |
| Observation Matrix | $H = [1 \quad 0]$ |
| Measurement error covariance matrix | $R = [0.024]$ |

#### 4.4.1 การคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างของโครงการ Gaysorn 2

เมื่อทำการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วย KFFM เป็นจำนวน 36 ครั้งตลอดระยะเวลาโครงการโดยใช้ผลการรายงานความคืบหน้าในแต่ละเดือนร่วมกับตัวแปรต่างๆจากตารางด้านบน จะทำให้ได้ผลดังตารางที่ 4.8 โดยในข้อมูลตารางดังกล่าวเป็นเพียงผลการคาดการณ์บางส่วนเท่านั้น ทั้งนี้ผู้วิจัยได้สรุปผลระยะเวลาที่คาดการณ์ได้ในภาพที่ 4.5

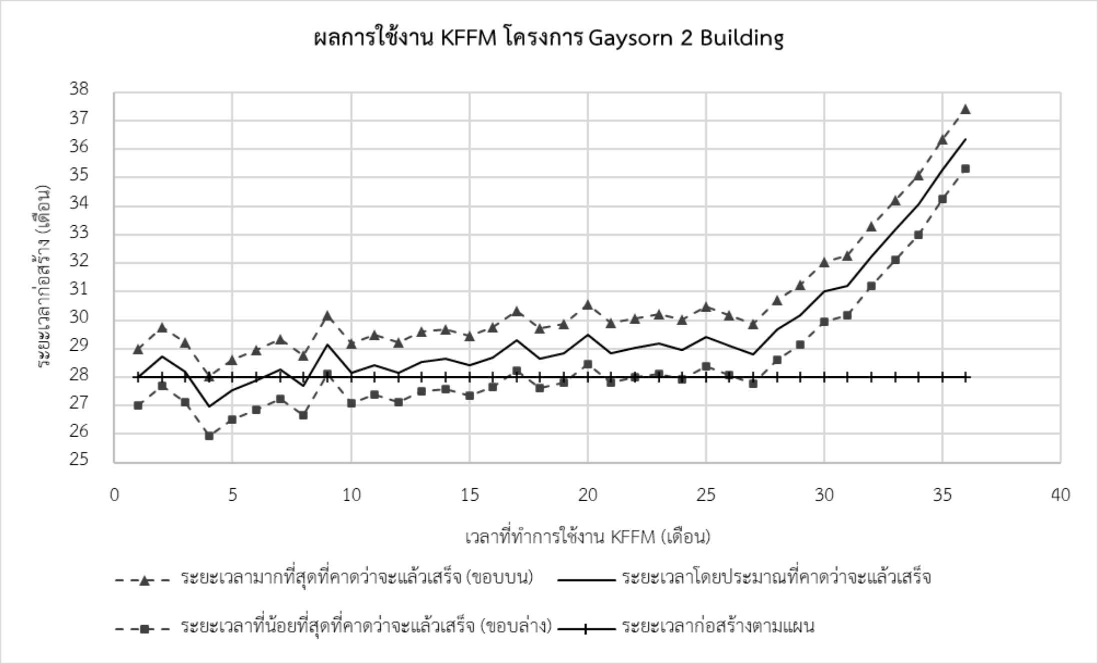



*ภาพที่ 4.5 รายงานความคืบหน้าโครงการ Gaysorn 2 (ที่มา:Project Alliance, 2560)*

ตารางที่ 4.7 ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างของโครงการ Gaysorn 2 โดยใช้ Kalman Filter Forecasting Method

| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 28.00 | 0.50 |
| | 0.00 | 0.00 | 0.25 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.25 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 2 | 0.00 | 0.25 | 0.25 | -0.05 | 0.91 | -0.05 | 0.02 | 0.02 | 1.95 | 28.72 | 0.52 |
| | 0.00 | 0.25 | 0.50 | | 0.91 | -0.05 | 0.02 | 0.27 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 3 | -0.10 | 0.34 | 0.29 | -0.01 | 0.93 | -0.02 | 0.02 | 0.02 | 2.98 | 28.18 | 0.53 |
| | -0.05 | 0.29 | 0.52 | | 0.81 | 0.02 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 4 | 0.00 | 0.35 | 0.30 | 0.16 | 0.93 | 0.15 | 0.02 | 0.02 | 4.15 | 26.98 | 0.53 |
| | 0.02 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | 0.15 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 5 | 0.30 | 0.35 | 0.30 | 0.07 | 0.93 | 0.08 | 0.02 | 0.02 | 5.08 | 27.55 | 0.53 |
| | 0.15 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.04 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 6 | 0.04 | 0.35 | 0.30 | 0.02 | 0.93 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 6.02 | 27.89 | 0.53 |
| | -0.04 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.06 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 7 | -0.03 | 0.35 | 0.30 | -0.07 | 0.93 | -0.07 | 0.02 | 0.02 | 6.93 | 28.29 | 0.53 |
| | -0.06 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.09 | 0.02 | 0.28 | | | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




*ภาพที่ 4.6 สรุปผลการใช้งาน KFFM โครงการ Gaysorn 2 Building*

ภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงกรอบความเป็นไปได้ที่โครงการจะสร้างได้ทันตามที่ระบุไว้ในสัญญาซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักของการใช้งาน KFFM จะเห็นว่าในช่วงแรกของโครงการผู้รับเหมาทำงานได้ค่อนข้างเป็นไปตามแผน ทำให้ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างที่คาดว่าจะแล้วเสร็จ (EDAC) จะมีค่าใกล้เคียงกับระยะเวลาตามแผน และในขณะเดียวกันส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาก่อสร้างก็มีการเปลี่ยนแปลง โดยเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อระยะเวลาผ่านไปโครงการมีผลการดำเนินงานที่แสดงให้เห็นถึงความล่าช้า ทำให้ผลการคาดการณ์ EDAC เริ่มขยับตัวออกห่างจากระยะเวลาตามแผนมากขึ้น จนท้ายที่สุดพบว่าระยะเวลาก่อสร้างที่คาดว่าจะแล้วเสร็จนั้นแสดงให้เห็นว่าโครงการจะเกิดความล่าช้าขึ้น และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีค่าคงที่

ผลจากการใช้งาน KFFM ยังชี้ให้เห็นถึงความเสี่ยงในที่โครงการจะไม่ตามระยะเวลาที่ตกลงในสัญญาโดยการใช้ค่าสูงที่สุดและต่ำที่สุดของ probability distribution ของระยะเวลาก่อสร้าง ซึ่งแสดงด้วยขอบบนและขอบล่างตามลำดับ พบว่าตั้งแต่เดือนที่ 17 ผลการคาดการณ์แสดงให้ว่าโครงการนี้มีความเสี่ยงโครงการจะไม่สามารถก่อสร้างได้ทันตามแผน เนื่องจากขอบล่างซึ่งหมายถึงระยะเวลาที่เร็วที่สุดที่คาดว่าจะแล้วเสร็จมีค่าอยู่เหนือระยะเวลาก่อสร้างตามแผนที่ 28 เดือน

ผลจากการใช้งาน KFFM ยังมีข้อสังเกตเพิ่มเติม ดังนี้

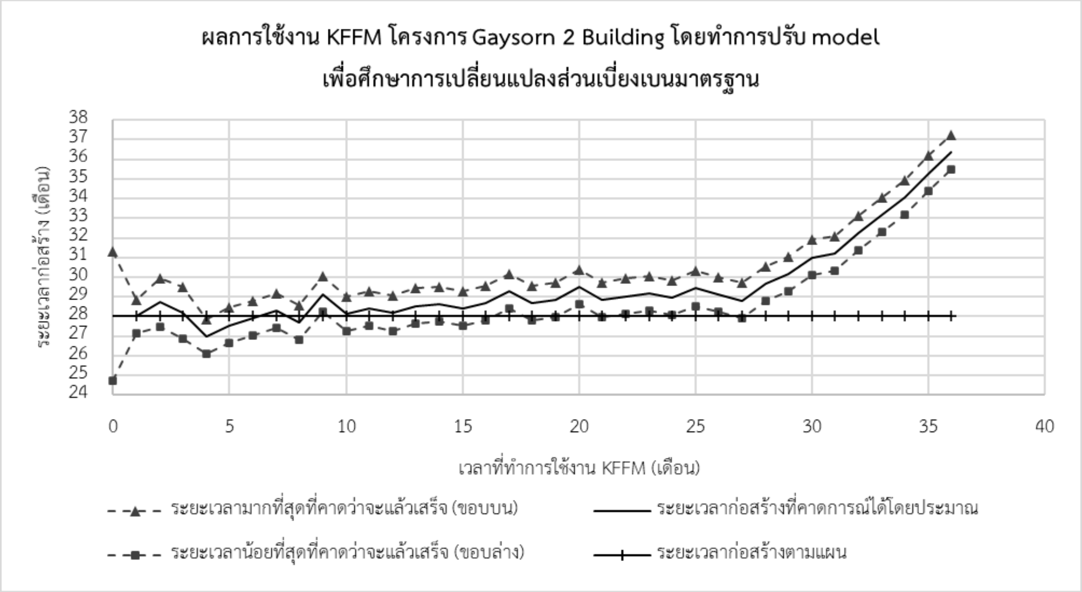
1. ระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้ค่อนข้างมีความคลาดเคลื่อนจากระยะเวลาโครงการที่ใช้ตามจริง

สาเหตุเพราะพฤติกรรมของการพยากรณ์ของ KFFM ที่อ้างอิงโดยใช้ผลความคืบหน้าตามแผนและความคืบหน้าที่เกิดขึ้นจริง โดยจะเห็นว่าความคืบหน้าจริงในแต่ละเดือนมีความล่าช้าไปจากแผนประมาณ 1 ถึง 8% เท่านั้น อีกทั้งในระยะหลังโครงการประสบปัญหาบางประการที่ทำให้ไม่สามารถดำเนินงานบางกิจกรรมได้ เช่นปัญหาในเรื่องแบบก่อสร้างที่มีการปรับเปลี่ยนจึงทำโครงการล่าช้าออกไปมากขึ้นจากที่ควรจะเป็น อย่างไรก็ตามประเด็นเรื่องความคาดเคลื่อนของระยะเวลาคาดการณ์ก็สามารถเกิดขึ้นกับเครื่องมือ Monitor อื่น ๆ เช่น Earned Value Management ได้เช่นกัน เนื่องจากเครื่องมือ Monitor เหล่านี้เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการติดตามประสิทธิภาพและใช้ในการประเมินความเสี่ยงที่โครงการจะเกิดความล่าช้า ซึ่งเมื่อผู้จัดการโครงการเห็นถึงความล่าช้าที่อาจมีการกำหนดนโยบายในดำเนินงานใหม่ จนทำให้โครงการที่มีผลการดำเนินงานไม่เป็นไปตามกำหนดกลายเป็นโครงการที่มีการผลดำเนินงานตามแผนหรืออาจจะมีความก้าวหน้ามากกว่าที่กำหนด ทำให้ระยะเวลาก่อสร้างที่ใช้จริงอาจไม่เป็นไปตามระยะเวลาที่คาดการณ์ได้

2. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาก่อสร้าง ($\sigma_k$) ที่คาดการณ์ได้ไม่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป เหมือนงานวิจัยของ Kim (2007)

ผู้วิจัยพบว่าผลการคาดการณ์ด้วย KFFM ในแต่ละครั้ง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่ามากขึ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่งและจะมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ $\sigma_k$ มีค่ามากขึ้นเพราะพจน์ $Q_{k-1}$ ที่มีค่าคงตัวเป็นบวกในสมการ $P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q_{k-1}$ ซึ่งเป็นพจน์ที่ถูกนำไปใช้ในการคาดการณ์ $\sigma_k$ ดังนั้นการที่พจน์ $Q_{k-1}$ มีค่าคงตัวเป็นบวกจะทำให้ $P_k^-$ มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ $\sigma_k$ เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาเพิ่มเติม ทำให้ทราบว่ายังมีบางกรณีที่การคำนวณด้วย KFFM สามารถทำให้พิสัยลดลงได้ คือ ในกรณีที่สมาชิกในตำแหน่งที่ $a_{22}$ ในเมทริกซ์ $P_0$ มีค่ามากกว่าพจน์ $q$ ในเมทริกซ์ $Q_k$ ดังตัวอย่างในภาพที่ 4.7



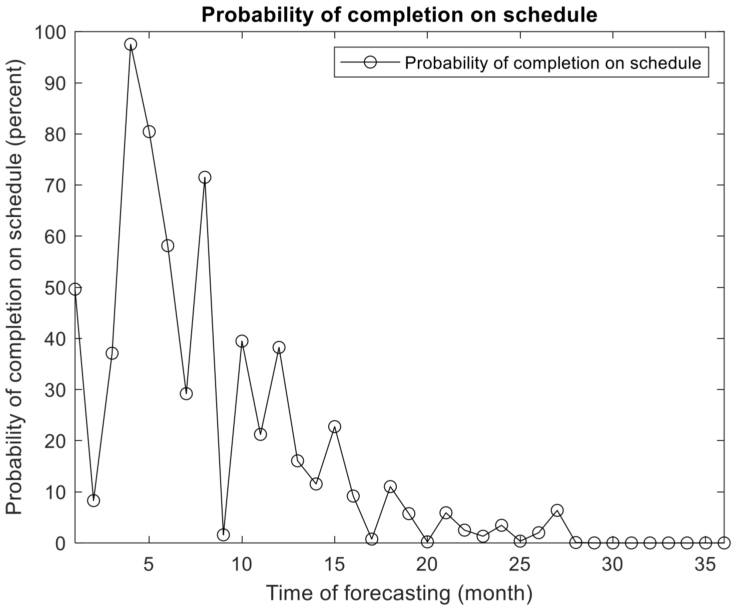

*ภาพที่ 4.7 ผลการปรับ model เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงส่วนเบี่ยนมาตรฐานของระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ด้วย KFFM*

เมื่อกำหนดให้สมาชิกตำแหน่ง $a_{22} = 4$ ในเมทริกซ์ $P_0$ จะได้ว่า $P_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 4 \end{bmatrix}$ ซึ่งหมายความว่าตั้งแต่ก่อนเริ่มโครงการก็พบว่ามีความไม่แน่นอนเกิดขึ้น ถึงแม้ว่าการใช้งาน KFFM ในเดือนที่ 1 จะมีผลส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาก่อสร้าง ($\sigma_k$) ที่ลดลง แต่ในเดือนที่ 2 พบว่า $\sigma_k$ กลับมีค่าที่เพิ่มขึ้นและจะค่อย ๆ ลดลงจนคงที่ ตั้งแต่เดือน 8 เป็นต้นไป

ทั้งนี้การกำหนดให้ $P_0$ ไม่เป็นเมทริกซ์ที่เท่ากับ 0 จะเป็นการขัดกับทฤษฎีของ Kim (2007) และ Kim and Reinschmidt (2010) ที่กำหนดให้ $P_0$ เนื่องจากโครงการยังไม่ควรมีความไม่แน่นอนใด ๆ เกิดขึ้นทั้งในแง่ของมูลค่าโครงการและระยะเวลาก่อสร้างในช่วงก่อนการเริ่มโครงการ

### 4.4.2 โอกาสที่โครงการจะก่อสร้างได้เสร็จทันเวลา

หลังจากที่นำผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างจาก KFFM มาประเมินถึงโอกาสที่โครงการจะก่อสร้างได้เสร็จทันระยะเวลาสัญญา (ภาพที่ 4.8) พบว่าในช่วง 10 เดือนแรกโครงการมีโอกาสที่จะก่อสร้างเสร็จตามระยะเวลาสัญญาค่อนข้างสูง ต่อมาเมื่อพิจารณาโอกาสในเดือนถัด ๆ ไปในภาพรวมจะสังเกตุได้ว่าโครงการมีแนวโน้มที่จะก่อสร้างได้ทันเวลาลดลง เมื่อเห็นเป็นเช่นนี้แล้วลักษณะของแนวโน้มดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการเห็นถึงความเป็นไปได้ที่โครงการจะเกิดความล่าช้าและสามารถปรับกลยุทธ์ในการบริหารโครงการเพื่อให้ประสบผลสำเร็จได้สำหรับโครงการในอนาคต




*ภาพที่ 4.8 โอกาสที่โครงการ Gaysorn 2 จะสำเร็จภายในระยะเวลาสัญญา*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

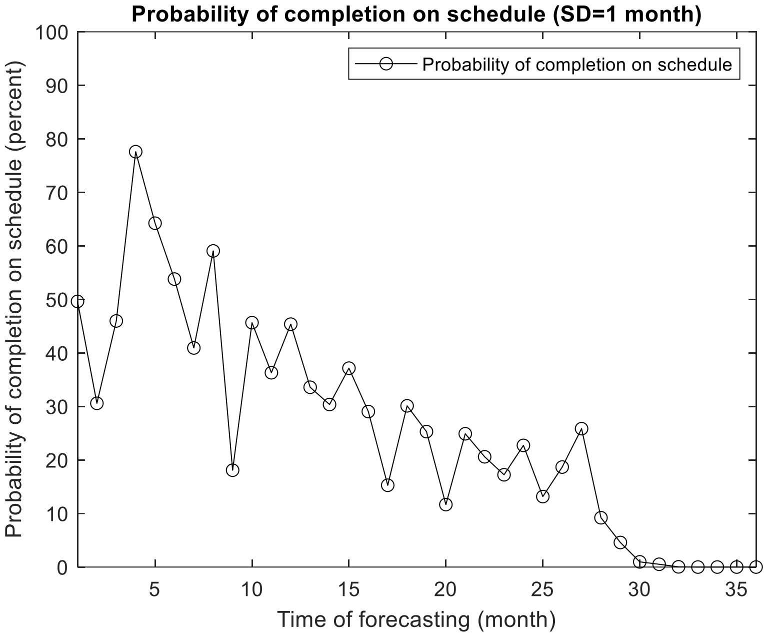
จากภาพที่ 4.8 จะเห็นว่าค่าของโอกาสที่โครงการจะก่อสร้างได้เสร็จทันเวลามีความแปรปรวนอย่างมากในช่วงต้นของโครงการ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการกระจายตัวของระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ที่มีลักษณะเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ซึ่งมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีค่าโดยประมาณเท่ากับ 0.5 เดือน หากผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วย KFFM ระบุว่าโครงการดังกล่าวมี $EDAC_k$ เท่ากับ 29 เดือน และมี $\sigma_k$ เท่ากับ 0.5 เดือน ดังนั้นโอกาสที่โครงการจะสามารถก่อสร้างได้เสร็จภายใน 28 เดือนตามแผน $[P(x \le 28)]$ โดยใช้ทฤษฎี z-value ได้เท่ากับ

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \tag{4.3}$$

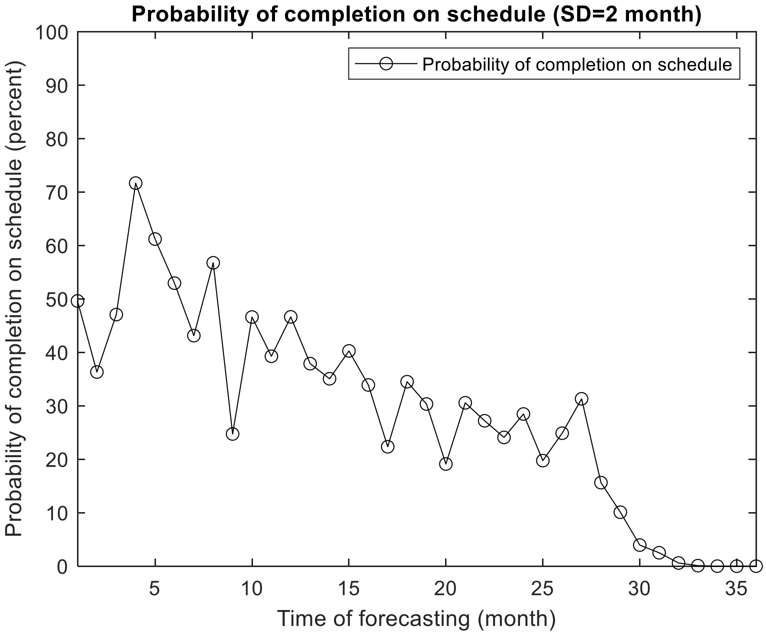
$$z = \frac{28 - 29}{0.5} = -2 \tag{4.4}$$

$$\therefore \quad P(x \le 28) = P(z \le -2) = 1 - 0.977 = 0.033 \tag{4.5}$$

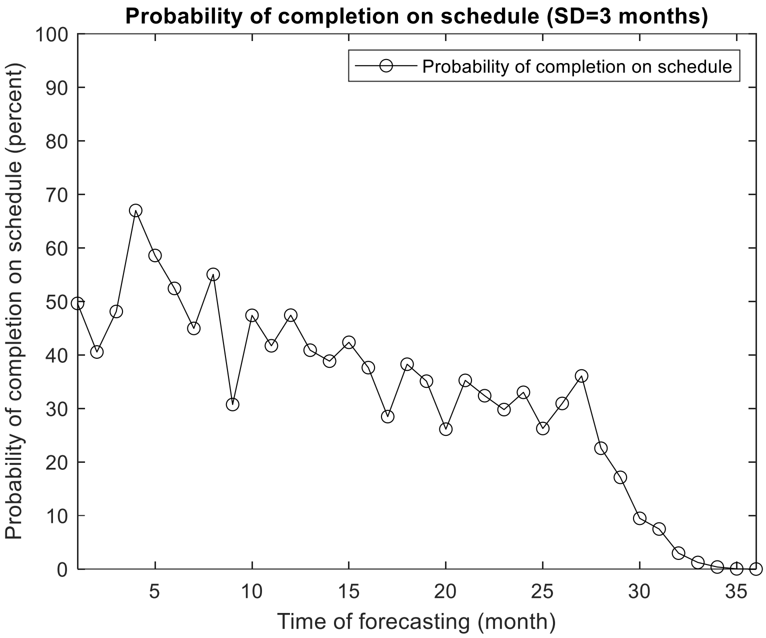
ผลจากการคำนวนพบว่าโอกาสในการที่โครงการสามารถก่อสร้างได้ทันตามแผนมีค่าประมาณร้อยละ 3.3 เท่านั้น โดยผู้วิจัยคาดว่าหากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation หรือ SD) มีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ความแปรปรวนของโอกาสในการที่โครงการสามารถก่อสร้างได้ทันตามแผนเปลี่ยนแปลงด้วย ทั้งนี้เมื่อทำการเปลี่ยนค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาก่อสร้าง พบว่าเมื่อค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพิ่มขึ้นจะทำให้ความแปรปรวนของโอกาสในการก่อสร้างทันเวลาลดลงดังภาพที่ 4.9 ถึงภาพที่ 4.11




*ภาพที่ 4.9 โอกาสที่โครงการจะก่อสร้างเสร็จภายในระยะเวลาสัญญา (SD = 1 เดือน)*

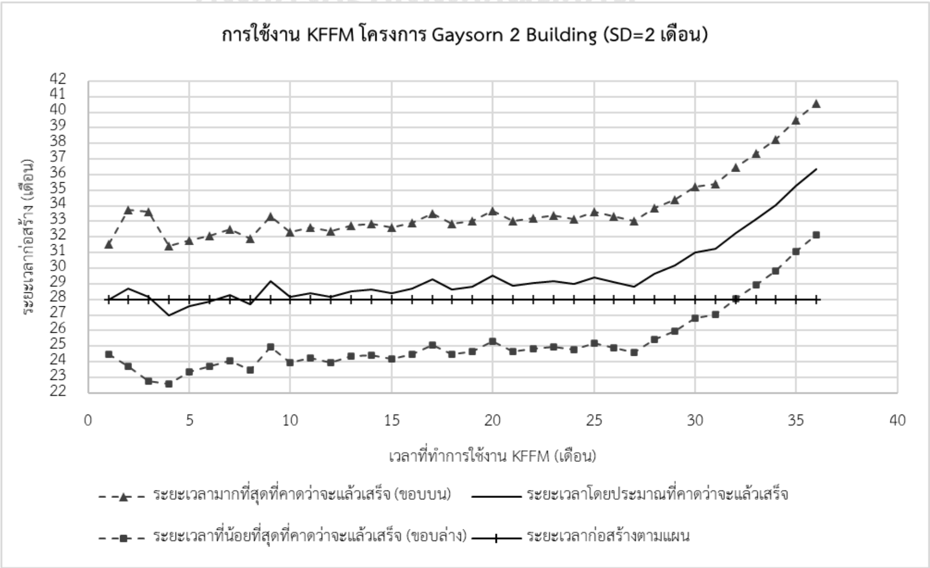



*ภาพที่ 4.10 โอกาสที่โครงการจะก่อสร้างเสร็จภายในระยะเวลาสัญญา (SD = 2 เดือน)*




*ภาพที่ 4.11 โอกาสที่โครงการจะก่อสร้างเสร็จภายในระยะเวลาสัญญา (SD = 3 เดือน)*

สาเหตุที่เมื่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของระยะเวลาก่อสร้างมีค่ามากขึ้นแล้วทำให้ความแปรปรวนของโอกาสลดลง เพราะเมื่อส่วนเบี่ยงมาตรฐานมีค่ามากขึ้นย่อมทำให้ขอบเขตของระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้มีความกว้างมากขึ้น ส่งผลให้โอกาสที่โครงการจะสามารถก่อสร้างได้ทันเวลามีค่ามากขึ้นดังภาพที่ 4.12 ซึ่งแสดงเห็นว่าเมื่อ SD = 2 เดือน จะทำให้พิสัยของระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้มากขึ้นหากเทียบกับกรณี SD = 0.5 เดือน ในภาพที่ 4.5



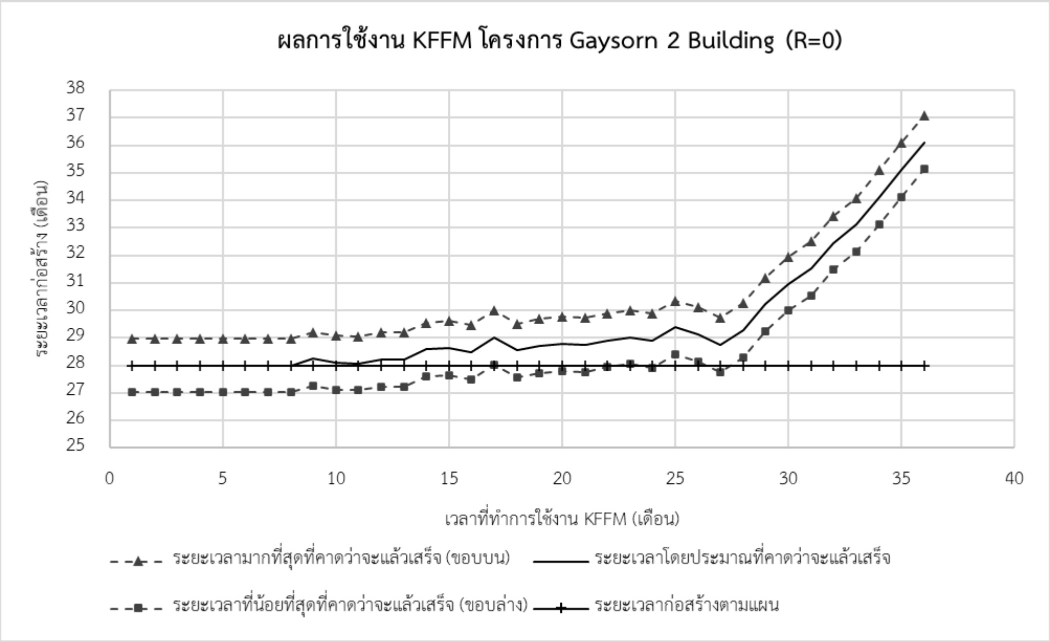

*ภาพที่ 4.12 ผลการใช้งาน KFFM โครงการ Gaysorn 2 Building (SD = 2 เดือน)*

อย่างไรก็ตามการที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูง อาจส่งผลให้ผู้ใช้งานเกิดการละเลยความล่าช้าที่จะเกิดขึ้นและไม่ดำเนินการใด ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการก่อสร้าง ทำให้โครงการไม่สามารถก่อสร้างได้เสร็จทันระยะเวลาตามแผนในที่สุด

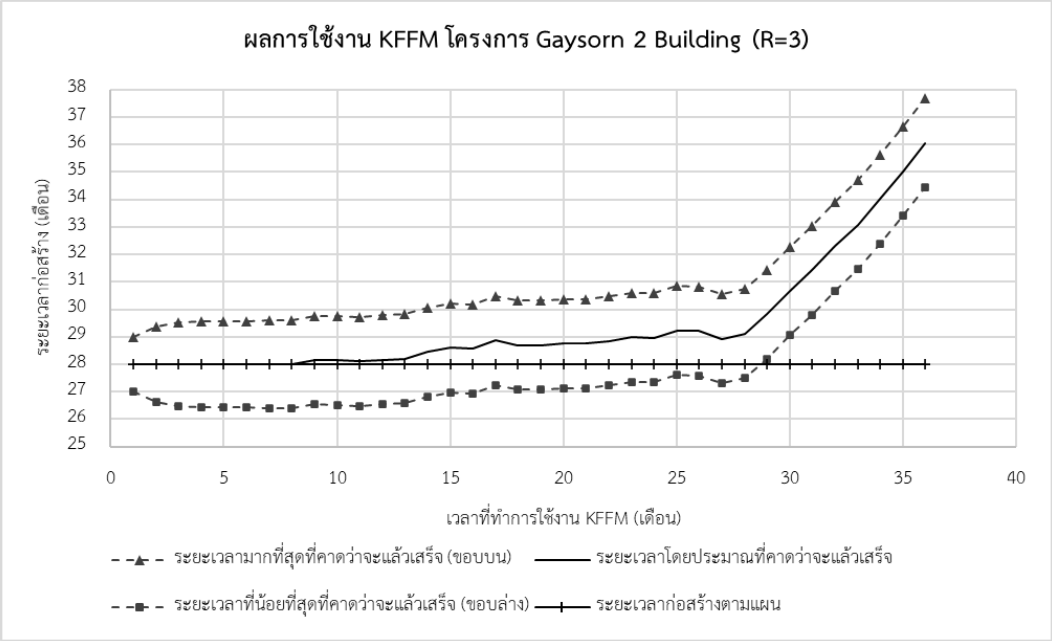
### 4.5 อิทธิพลของ Measurement error (*R*) กับผลการคาดการณ์ด้วย KFFM

ความสามารถอย่างหนึ่งของ Kalman Filter Forecasting Method คือ การให้อิสระแก่ผู้ใช้งานในการที่จะทำการปรับเปลี่ยน Measurement error ($R$) ตามความเชื่อมั่นต่อความแม่นยำในการวัดความคืบหน้าของโครงการอย่างมีวิจารณญาณ (Kim, 2007)

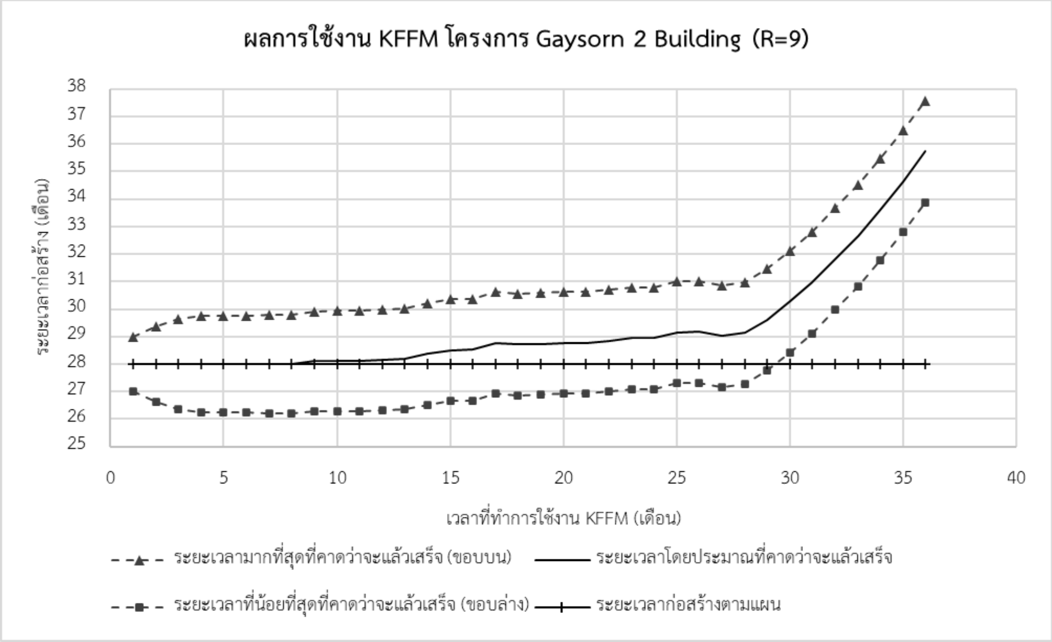
เมื่อ Measurement error ($R$) นับเป็นตัวแปรหนึ่งของระบบการคำนวณ การเปลี่ยนแปลง Measurement error อาจส่งผลต่อระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำโครงการ Gaysorn 2 มาทำการศึกษาอิทธิพลของ Measurement error ($R$) ต่อผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้าง โดยทำการใช้ค่าของ Measurement error ($R$) ที่แตกต่างกัน 4 ค่า ได้แก่ $R$ = 0 ซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่ผู้จัดการโครงการเชื่อมั่นเป็นอย่างมากว่าการเก็บข้อมูลความคืบหน้าโครงการมีความแม่นยำและไม่มีความผิดพลาดใด ๆ และค่าต่อมาได้แก่ $R$ = 3, $R$ = 9 และ $R$ = 100 ซึ่งสะท้อนให้ถึงความไม่มั่นในความแม่นยำของการเก็บข้อมูลความคืบหน้า โดยผลการใช้งาน KFFM ที่มีค่า Measurement error แตกต่างกันจะอยู่ในภาพที่ 4.13 ถึง 4.16



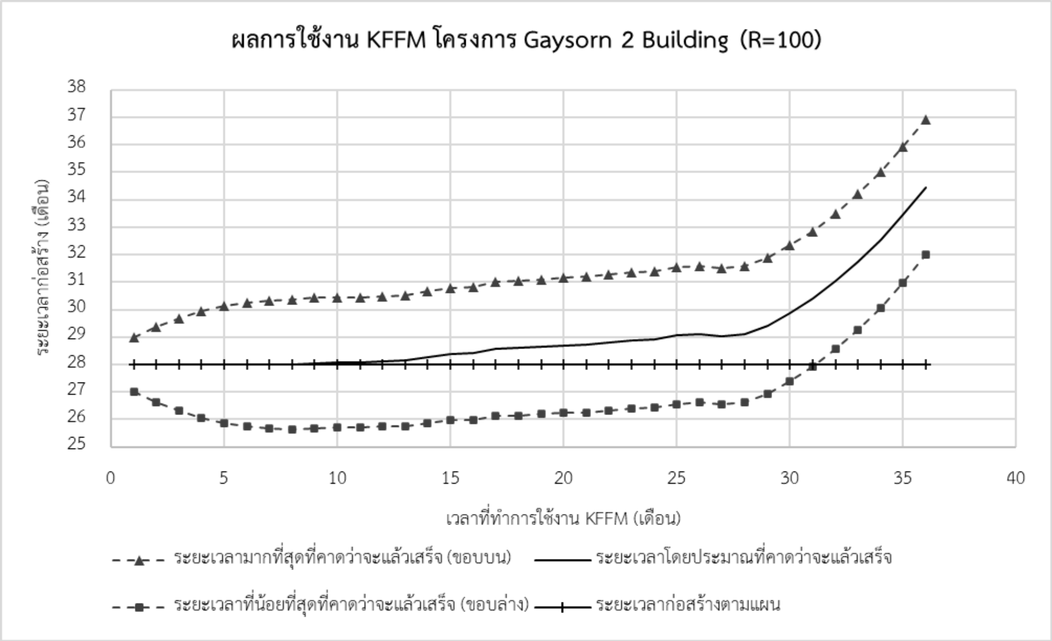

*ภาพที่ 4.13 ผลการใช้งาน KFFM (R = 0)*




*ภาพที่ 4.14 ผลการใช้งาน KFFM (R = 3)*




*ภาพที่ 4.15 ผลการใช้งาน KFFM (R = 9)*



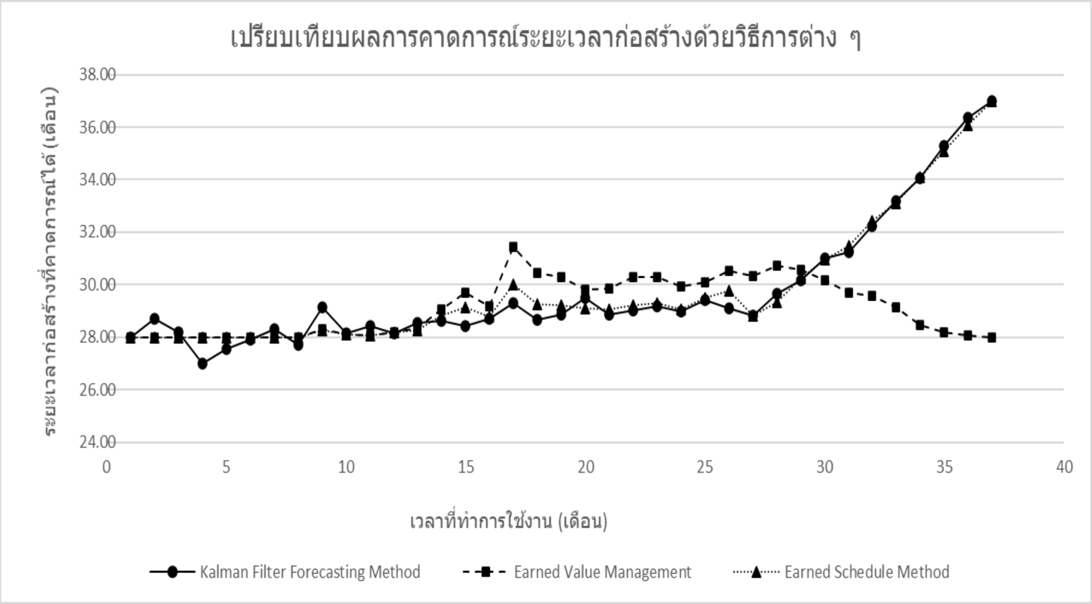

*ภาพที่ 4.16 ผลการใช้งาน KFFM (R = 100)*

เมื่อค่า Measurement error ( $R$ ) มีการเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วย KFFM ในแต่ละเดือนมีค่าลดลงเล็กน้อยและมีความผันผวนลดลง ในขณะเดียวกัน Measurement error ที่มากขึ้นส่งผลให้พิสัยของระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้มีค่ามากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามการที่ Measurement error ที่สูงบ่งชี้ว่าการเก็บข้อมูลความคืบหน้าของโครงการมีความผิดพลาดมาก ดังนั้นผู้จัดการโครงการจึงควรเลือก Measurement error อย่างมีวิจาณญาณ

**4.5 เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างกับวิธีการ EVM และ ESM**

ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยวิธี KFFM กับวิธีการดั้งเดิมในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างในช่วงระหว่างการก่อสร้างอันประกอบด้วยวิธี Earned Value Management (EVM) และ Earned Schedule Method (ESM) ในภาพที่ 4.17 โดยวิธีการทั้งสองวิธี นับเป็นพื้นฐานของ KFFM เนื่องจาก KFFM มีการใช้สมการของ ESM ซึ่งเป็นวิธีการที่พัฒนามาจาก EVM

ผลจากเปรียบเทียบพบว่าผลจากการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างช่วงเดือนที่ 1 ถึง 9 พบว่าวิธี EVM และ ESM ให้ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างคงที่ โดยคาดการณ์ว่าโครงจะใช้ระยะเวลาก่อสร้างเป็นเวลา 28 เดือนตามแผน ในขณะเดียวกันพบว่า ผลที่คาดการณ์ได้ด้วย KFFM มีการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างไม่แน่นอน ซึ่งเกิดจากค่าตัวแปรสุ่มของความไม่แน่นอนในการวัด ( $v_k$ )




*ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยวิธีการต่าง ๆ*

ช่วงเดือนที่ 10 ถึงเดือนที่ 28 พบว่าว่าระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้ด้วยวิธี ESM และ KFFM ค่อนข้างมีความใกล้เคียงกัน แต่อาจจะมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดในบางเดือน เนื่องจากผลของค่าตัวแปรสุ่ม ($v_k$) ภายในสมการของ KFFM เมื่อพิจารณาในส่วนระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ด้วยวิธี EVM พบว่าระยะเวลาก่อสร้างที่คาดว่าใช้ในการก่อสร้างมีค่ามากกว่าวิธี ESM และ KFFM เป็นระยะเวลาประมาณ 1 เดือน

ตามสิ่งที่น่าสนใจปรากฏขึ้นตั้งแต่เดือนที่ 28 เป็นต้นไป ในช่วงเวลาดังกล่าวนับได้ว่าเป็นช่วงที่โครงการใช้เวลาในการดำเนินโครงการเกินกว่าระยะเวลาตามแผน หมายความว่าโครงการเกิดความล่าช้าจนไม่สามารถส่งมอบโครงการได้ทันเวลา ในภาพที่ 4.17 ผลจากการคาดการณ์ด้วย ESM และ KFFM มีค่าที่ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามความล่าช้าที่เกิดขึ้น หากพิจารณาในส่วนของผลที่ได้จากการใช้งานวิธี EVM จะพบว่าระยะเวลาที่คาดการณ์ได้มีแนวโน้มที่จะลดลง ซึ่งสวนทางกับความล่าช้าที่เกิดขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อการก่อสร้างดำเนินต่อไปจนถึงเดือนที่ 37 อันเป็นเดือนที่โครงการสุดจะพบว่าระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้กลับมีค่าเท่ากับ 28 เดือนที่เป็นระยะเวลาก่อสร้างตามแผนซึ่งไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงที่เกิดขึ้น ดังนั้นการใช้วิธีสมการในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วย EVM จึงไม่เหมาะสมกับโครงการที่มีการส่งมอบล่าช้าเกินกว่าที่กำหนดไว้ในแผนการก่อสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## 4.6 ข้อดี สิ่งที่ควรคำนึง และข้อจำกัดในการใช้งาน Kalman Filter Forecasting Method (KFFM)

ผลจากการทดสอบการใช้งาน KFFM กับโครงการจำลองและโครงการ Gaysorn 2 พบว่า KFFM เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการติดตามความคืบหน้าของโครงการและประเมินความเสี่ยงที่โครงการจะไม่สามารถส่งมอบได้ทันตามระยะเวลาสัญญาได้ ซึ่งการใช้งาน KFFM จะมีข้อดีและสิ่งที่ควรคำนึงในการใช้งานดังนี้

### 4.6.1 ข้อดีของ Kalman Filter Forecasting Method (KFFM)

1. KFFM มีลักษณะเป็น Probabilistic Estimation ที่ให้ผลการคำนวณเป็นแบบ Normal Distribution อันประกอบไปด้วยระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้โดยหรือ $EDAC$ (Estimation duration at completion) และความส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของของระยะเวลาก่อสร้าง $\sigma$ โดยจะแตกต่างกับวิธี EVM และ ESM ที่เป็นการพยากรณ์ระยะเวลาก่อสร้างแบบจุดเดียว (Single point estimation) ซึ่งจะให้ผลเป็นระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ว่าจะใช้เพียง 1 ค่าเท่านั้น

2. ผู้ใช้งาน KFFM ไม่จำเป็นต้องทราบถึงรายละเอียดของแต่ละกิจกรรม เนื่องจาก KFFM มุ่งเน้นไปที่การใช้ข้อมูลความคืบหน้าของโครงการจาก S-curve เท่านั้น

3. KFFM จะมีการปรับปรุงระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้ รวมไปถึงอัพเดทส่วนเบี่ยงมาตรฐานของระยะเวลาก่อสร้างเสมอ ซึ่งทำให้ KFFM เป็นเครื่องมือแบบ Dynamic Monitoring Tools ที่มีความสามารถในการประเมินความเสี่ยงที่โครงการจะก่อสร้างไม่เสร็จตามแผนได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ ตลอดการก่อสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

### 4.6.2 สิ่งที่ควรคำนึงในการใช้งาน Kalman Filter Forecasting Method (KFFM)

1. การใช้งานในช่วงเริ่มแรกผลการคาดการณ์จาก KFFM ค่อนข้างมีความผันผวนเนื่องจาก KFFM ในช่วงเริ่มแรกจะมีการปรับปรุงค่า Kalman Gain ( $K$ ) อยู่ในช่วงระยะเวลาหนึ่งและ Kalman Gain จะมีค่าคงที่ในที่สุด ซึ่งในกรณีของ โครงการ Gaysorn 2 จะเริ่มคงที่เมื่อมีการใช้งานไปแล้ว 3 ครั้ง ทั้งนี้จำนวนครั้งในการใช้งานจน Kalman gain มีค่าคงนั้นไม่สามารถระบุได้อย่างแน่ชัด เนื่องจากอิทธิพลของการกระจายของระยะเวลาก่อสร้าง และ Measurement error ( $R$ ) โดย Kim (2007) กล่าวว่าข้อมูลจาก KFFM จะมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นไปตามระยะเวลา ดังนั้นจึงขึ้นอยู่กับดุลยพินิจผู้ใช้งานว่าเลือกเชื่อถือข้อมูลเมื่อใด

2. ข้อมูลบางประเภท ได้แก่ Measurement error ($R$) และ ส่วนเบี่ยงมาตรฐานของระยะเวลาก่อสร้าง ($\sigma_T$) ในกรณีที่ไม่สามารถหาปริมาณได้ด้วยการคำนวณ ให้ผู้ใช้งานใช้วิจารณญาณในการประเมินโดยลดความลำเอียงของข้อมูลให้มากที่สุด เพื่อป้องไม่ให้การคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างและประเมินความเสี่ยงที่โครงการจะเกิดความล่าช้าด้วย KFFM ได้รับอิทธิพลจากข้อมูลที่ไม่เป็นกลาง

### 4.6.3 ข้อจำกัดในการใช้งาน Kalman Filter Forecasting Method (KFFM)

1. การคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างโดยใช้หน่วย “เดือน” ในโครงการจริงอาจมีความไม่สอดคล้องของ Level of Detail เกิดขึ้น เนื่องจากในการคำนวณด้วยหน่วย “เดือน” จะกำหนดให้ 1 เดือน มีระยะเวลาเท่ากับ 30 วัน ซึ่งในความเป็นจริงระยะเวลาในแต่ละเดือนมีได้ตั้งแต่ 28 วัน ถึง 31 วัน จึงทำให้ผลการพยากรณ์วันที่โครงจะแล้วจะแล้วเสร็จจึงมีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นหากต้องการทราบวันที่อย่างละเอียด ควรคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างในหน่วย “สัปดาห์” โดยใช้ข้อมูลการรายงานผลการดำเนินงานรายสัปดาห์ เพื่อเพิ่มความละเอียดของข้อมูลและสร้างความสอดคล้องของ Level of Detail

2. ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วย KFFM ไม่สามารถใช้สำหรับการบ่งบอกระยะเวลาก่อสร้างที่โครงการจะใช้ก่อสร้างจนแล้วเสร็จอย่างแน่นอนตามจริง ระยะเวลาก่อสร้างที่ได้จากการใช้งาน KFFM เป็นเพียงการคาดการณ์ถึงระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้เท่านั้น เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างจริงมีปัจจัยหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น แนวทางการบริหารโครงการของผู้จัดการโครงการ ตัวอย่างเช่น โครงการ Gaysorn 2 สมมติให้ผลจากการใช้ KFFM ระบุว่าโครงการมีโอกาสที่จะก่อสร้างได้ทันตามแผนร้อยละ 10 และคาดว่าจะใช้ระยะเวลาก่อสร้าง 30 เดือน หลังจากที่ผู้จัดการโครงการได้รับข้อมูลดังกล่าว หากผู้จัดการโครงการทำการเร่งการก่อสร้างก็อาจจะทำให้ใช้เวลาก่อสร้างน้อยกว่า 30 เดือน ในขณะเดียวกันหากผู้จัดการโครงการละเลยสัญญาณดังกล่าวก็อาจจะทำให้โครงการใช้เวลาก่อสร้าง 30 เดือน หรือมากกว่าก็เป็นไปได้ อีกทั้งโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ที่ใช้ระยะเวลาก่อสร้างนานหลายเดือนหรือหลายปีมักเผชิญกับความเสี่ยงต่าง ๆ อยู่เสมอ เป็นเหตุให้โครงการอาจจะไม่สามารถก่อสร้างได้ทันตามระยะเวลาที่คาดการณ์ได้

3. ทฤษฎีของ KFFM ค่อนข้างมีความซับซ้อนและต้องใช้เวลาในการทำเข้าใจ โดยผู้ที่จะใช้งาน KFFM จะต้องมีความรู้ในเรื่อง (1) Earned Schedule และ (2) Kalman Filter

ซึ่งอาจเป็นเนื้อหาใหม่สำหรับผู้ใช้งานบางท่าน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเข้าใจหลักการคำนวณของ KFFM แล้ว การคำนวณสามารถทำได้อย่างสะดวกด้วยโปรแกรม Excel

### 4.7 สรุป

KFFM เป็นเครื่องมือที่มีความสามารถในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างรวมไปถึงการช่วยให้ผู้ใช้ทราบถึงช่วงระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้อีกด้วย ทั้งนี้จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณของผู้วิจัยและ Abdel Azeem et al. (2014) พบว่ามีความคลาดเคลื่อนบ้างซึ่งมีสาเหตุมาจากค่าตัวแปรสุ่มของ Vector of random measurement ($v_k$) ที่มีค่าเท่ากับ $v_k \sim N(0,\sigma_T^2)$ ที่ผู้วิจัยได้แทนค่าให้เป็น 0 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของ $v_k$ เพื่อไม่ให้ค่าตัวแปรสุ่มดังกล่าวส่งผลกระทบต่อการคำนวณซึ่งจะทำให้ผลการคำนวณมีค่าเท่ากันทุกครั้งสำหรับการเปรียบเทียบผลการคำนวณกับงานวิจัยของ Abdel Azeem et al. (2014) เท่านั้น ทั้งนี้ในการใช้งานกับโครงการจริงจริงผู้ใช้งานควรใช้รวมผลของ Vector of random measurement ($v_k$) ด้วย โดยโครงการ Gaysorn 2 ผู้วิจัยได้ทำการรวมผลของตัวแปรสุ่มในตารางที่ 4.5

นอกจากประโยชน์ในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างแล้ว KFFM ยังมีความสามารถในการใช้วิเคราะห์โอกาสที่โครงการจะก่อสร้างไม่เสร็จได้ทันเวลาตามที่ได้วางแผนอีกด้วย ในภาพที่ 4.5 เป็นการรวบรวมผลการใช้งาน KFFM ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ของโครงการซึ่งแสดงให้เห็นถึงระยะเวลาที่เป็นเป็นไปได้รวมไปถึงกรอบระยะเวลาที่โครงการจะก่อสร้างจนแล้วเสร็จ โดยมีการเปรียบเทียบผลการคาดการณ์โดย KFFM กับระยะเวลาโครงการแผนและระยะเวลาโครงการที่ใช้จริง ถึงแม้ว่าระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้จากการใช้งาน KFFM จะค่อนข้างแตกต่างจะระยะเวลาก่อสร้างที่ใช้จนแล้วเสร็จ ซึ่งมีเหตุอันเนื่องมาจากการที่ผู้รับเหมาไม่สามารถทำงานบางส่วนได้เพราะความไม่ลงตัวของแบบก่อสร้างในช่วงท้ายโครงการจึงทำให้ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างในช่วงต้นโครงการมีความแตกต่างจากระยะเวลาก่อสร้างที่ใช้จริง ทั้งนี้ในแง่ของความแม่นยำในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างของ KFFM ผู้ใช้งานควรคำนึงว่าจุดประสงค์ของ KFFM คือ เพื่อใช้สำหรับเป็นเครื่องมือติดตามประสิทธิภาพในการก่อสร้างและวิเคราะห์ความเสี่ยงที่โครงการจะเกิดความล่าช้า ดังนั้นระยะเวลาก่อสร้างที่ใช้จริงก็จะขึ้นอยู่กับแนวทางการจัดการของผู้จัดการโครงการ (Managerial feedback) หลังจากที่รับทราบถึงความเสี่ยงที่โครงการจะเกิดความล่าช้า รวมไปถึงเหตุสุดวิสัยต่าง ๆ ที่อาจทำให้โครงการล่าช้าไปจากระยะเวลาที่วางแผน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แต่อย่างไรก็ตามการใช้ KFFM ก็สามารถชี้ให้เห็นถึงโอกาสที่โครงการจะไม่สำเร็จได้จากภาพที่ 4.7 ที่แสดงให้เห็นว่าโครงการมีแนวโน้มที่จะก่อสร้างได้ทันเวลาลดลง ในท้ายที่สุดโครงการก็ไม่สามารถส่งมอบได้ทันเวลาตามที่คาดการณ์

กล่าวโดยสรุป KFFM เป็นเครื่องมือที่มีความอเนกประสงค์ในเรื่องของการใช้งาน เนื่องจากความสามารถในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างในช่วงระหว่างการก่อสร้างให้อยู่ในรูปของ probability distribution ที่มีการอัพเดทส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาก่อสร้างในทุกครั้งที่ทำการใช้งาน สามารถนำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงที่โครงการจะก่อสร้างไม่ทันระยะเวลาตามแผนได้ ซึ่งแตกต่างจากเครื่องมือที่เป็นพื้นฐานของ KFFM อันได้แก่ Earned Value Method และ Earned Schedule ที่ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างเป็นแบบ single point estimation เท่านั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 5
# การพัฒนาตัวแบบผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ที่เกิดจากความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า

บทนี้จะกล่าวถึงการนำรายการผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นเมื่อโครงการก่อสร้างประสบกับความล่าช้ามาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของตัวแบบทางการเงินและเศรษฐศาสตร์ ทั้งนี้รายการผลกระทบต่าง ๆ จะต้องมีการจำแนกให้เข้ากับบริบทของโครงการซึ่งจะเป็นไปตามสัญญาการร่วมทุน ดังนั้นก่อนที่จะทำการจำแนกผลกระทบที่เกิดขึ้นกับแต่ละฝ่าย ผู้ที่รับผิดชอบในการประเมินต้องทราบถึงรายละเอียดของสัญญาในส่วนของหน้าที่และกรรมสิทธิ์ของคู่สัญญาด้วย

ด้วยเหตุนี้การพัฒนาตัวแบบผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการคำนวณผลกระทบต่อผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการจากความล่าช้าในการก่อสร้างในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งเป็นผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับภาครัฐเจ้าของโครงการ ภาคเอกชนผู้รับสัมปทาน และผลกระทบที่เกิดขึ้นกับประชาชนทั้งในพื้นที่และที่สัญจรผ่านโครงการ

ตัวแบบผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์จะถูกนำเสนอในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีลักษณะที่สอดคล้องกับรายการผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น โดยสมการที่ได้นำเสนอจะได้มาจากการศึกษาค้นคว้าจากข้อมูลที่จำเป็น ประกอบด้วย ข้อมูลทางสถิติ แนวคิด ทฤษฎี งานวิจัย และบทความต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งรายการผลกระทบแต่ละรายการจะถูกนำเสนอด้วยสมการที่เหมาะสม 1 สมการเท่านั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยจุดมุ่งหมายในการนำเสนอตัวแบบของผลกระทบ คือ การใช้เป็นสมการอ้างอิงสำหรับการประยุกต์เข้ากับ Kalman Filter Forecasting Method ซึ่งเป็น Dynamic monitoring system เพื่อทำให้เห็น risk profile ที่แปรผันไปตามเวลาระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้ของโครงการกรณีศึกษา

**5.1 ผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง**

1) ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านการบริหารจัดการโครงการ

ก. ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร

โครงการก่อสร้างทุกโครงการย่อมต้องมีการว่าจ้างพนักงานหรือบุคลากรเข้าไปรับผิดชอบหน้าที่ต่าง ๆ เพื่อให้โครงการดำเนินต่อไปได้ โดยบุคลากรเหล่านั้นจะได้รับค่าตอบแทนจากการทำงาน อย่างไรก็ตามเมื่อโครงการเกิดความล่าช้าขึ้นย่อมหมายถึงการที่บริษัทเอกชนและภาครัฐต้องจ่ายค่าตอบแทนให้บุคลากรมากเกินกว่าที่คาดการณ์ไว้

จากการศึกษาเอกสารของ (มณฑิณี ยิ่งเจริญ, 2553) พบว่าบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับโครงการจะถูกจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม ประกอบด้วย 1.บุคลากรโครงการ และ 2.บุคลากรทั่วไป (รวมอยู่ในค่าโสหุ้ย) ซึ่งการคำนวณค่าใช้จ่ายสำหรับแต่ละกลุ่มจะมีแนวทางที่แตกต่างกันดังนี้

(1) บุคลากรโครงการ

บุคลากรโครงการคือ พนักงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับโครงการนั้นโดยตรง ซึ่งเมื่อโครงการมีความล่าช้าในการก่อสร้างทำให้พนักงานเหล่านี้ที่ควรจะต้องย้ายไปทำหน้าที่โครงการอื่นจำเป็นต้องทำหน้าในโครงการเดิมให้แล้วเสร็จ ตัวอย่างเช่นวิศวกรโครงการ ผู้จัดการโครงการ เป็นต้น

ในส่วนของการคำนวณผลกระทบส่วนนี้สามารถทำได้โดยใช้ค่าตอบแทนรายวันหรือรายเดือนของบุคลากรโครงการเป็นตัวกำหนด ทั้งนี้ค่าตอบแทนรายวันหรือรายเดือนสามารถหาได้จากรายการบันทึกบัญชีรายจ่ายรวมไปถึงรายการคำนวณอัตราเงินเดือนของบุคลากรโครงการจากหน่วยงานในแผนกที่เกี่ยวข้องได้ ซึ่งสามารถคำนวณความเสียหายได้ดังสมการที่ 5.1

$$SD = SL \times PS \times t_{dl} \tag{5.1}$$

$SD$ = ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากรโครงการที่เกิดจากความล่าช้า (บาท)

$SL$ = รายได้ต่อวันโดยเฉลี่ยของบุคลากร (บาท/คน/วัน)

$PS$ = จำนวนบุคลากร (คน)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข. ค่าโสหุ้ย หรือ Overhead Expense

(1) บุคลากรทั่วไป

บุคลากรทั่วไปคือบุคลากรที่ไม่ได้เป็นบุคลาการของโครงการโดยตรง แต่ก็มีหน้าที่บางส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ตัวอย่างเช่นพนักงานแผนกจัดซื้อของส่วนกลางที่มีหน้าที่ในการตรวจสอบรายการ นิติกรจากฝ่ายกฎหมายที่ได้รับมอบหมายให้ดูแลและบริหารจัดการสัญญาของโครงการให้เรียบร้อย เป็นต้น ซึ่งการคำนวณค่าใช้จ่ายบุคลากรทั่วไปโดยตรงอาจทำได้ยาก เนื่องจากบุคลากรเหล่านั้นไม่ได้มีหน้าที่โดยตรงกับโครงการดังกล่าวเพียงโครงการเดียว ดังนั้นเพื่อลดความความยุ่งยากในการคำนวณค่าใช้จ่ายในส่วนดังกล่าว จึงถูกอยู่ในส่วนของค่าโสหุ้ย

(2) ค่าใช้จ่ายด้านสาธารณูปโภคของหน่วยงานก่อสร้าง

การก่อสร้างโครงการต่าง ๆ จำเป็นต้องมีการใช้งานระบบสาธารณูปโภคพื้นฐานซึ่งประกอบด้วย ระบบน้ำประปาและระบบไฟฟ้า ซึ่งการที่ใช้งานระบบสาธารณูปโภคเหล่านี้ผู้ใช้งานจำเป็นต้องชำระค่าบริการด้วย นอกจากนี้บางโครงการยังมีการเช่าพื้นที่เพื่อใช้เป็นสำนักงานและที่พักอาศัยคนงาน ดังนั้นเมื่อมีความล่าช้าเกิดขึ้นแล้วย่อมส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่แปรผันตามระยะเวลาที่ล่าช้าไปด้วย ทั้งนี้การคำนวณผลกระทบในส่วนของค่าใช้จ่ายด้านสาธารณูปโภคมักจะถูกรวมอยู่ในค่าโสหุ้ย (Overhead expense)

จากที่กล่าวมาจะพบว่าค่าใช้จ่ายหลายรายการจะถูกจัดอยู่ในส่วนของค่าโสหุ้ย (overhead expense) สำหรับการคำนวณค่าโสหุ้ยของแต่ละรายการ Weygandt et al. (2018) กล่าวว่าค่าโสหุ้ยที่เกิดขึ้นสามารถประมาณได้ด้วยวิธีที่เรียกว่า Predetermined overhead rate

วิธีการ Predetermined overhead rate (POR) เป็นวิธีการสำหรับคำนวณค่าโสหุ้ยของกิจกรรมต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการผลิต โดยที่วิธีการ Predetermined Overhead Rate จะมีพื้นฐานอยู่บนความสัมพันธ์ระหว่าง Estimated annual overhead costs (EAOC) และ Expected annual operating activity (EAOA)

ถึงแม้ว่า Weygandt et al. (2018) จะไม่ได้กล่าวถึงขั้นตอนสำหรับการประมาณการ Predetermined overhead rate (POR) โดยตรงแต่ได้ระบุว่าการที่จะประมาณมูลค่าของ POR บริษัทจำเป็นต้องทราบค่าประมาณของค่าโสหุ้ยของบริษัทต่อปี หรือ Estimated annual overhead

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

costs (EAOC) และค่าใช้จ่ายของกิจกรรมที่ประมาณการไว้ หรือ Expected annual operating activity (EAOA) ซึ่งในกรณีของโครงการก่อสร้างก็คือมูลค่างานก่อสร้างนั่นเอง

$$POR = EAOC / EAOA \tag{5.2}$$

$$POC = POR \times PC \tag{5.3}$$

$POR$ = อัตราส่วนการแปลงค่าใช้จ่ายเป็นค่าโสหุ้ย

$EAOC$ = มูลค่าประมาณการของค่าโสหุ้ยของบริษัทรายปี (บาท)

$EAOA$ = มูลค่าประมาณการของกิจกรรม ในกรณีนี้คือมูลค่าการลงทุนในโครงการ (บาท)

$POC$ = ค่าโสหุ้ยของโครงการ (บาท)

$PC$ = มูลค่าโครงการ (บาท)

อย่างไรก็ตามการคาดการณ์ค่าโสหุ้ยของโครงการโดยทั่วไปสามารถทำได้ด้วยการใช้ค่าประมาณทางสถิติหรือใช้ประสบการณ์ของผู้ประเมินเพื่อหาตัวประกอบในรูปของร้อยละของมูลค่าโครงการทางตรงสำหรับการคูณกับมูลค่าโครงการเพื่อได้ค่าโสหุ้ยประมาณการ (นพดล จอกแก้ว, 2560) เมื่อผู้ประเมินทราบถึงมูลค่าของตัวประกอบสำหรับการคำนวณแล้วสามารถประมาณค่าโสหุ้ยได้จากสมการต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$OH = P_{OH} \times DC \tag{5.4}$$

$$DAOH = \frac{OH}{PD} \times t_{dl} \tag{5.5}$$

$OH$ = ค่าโสหุ้ย (Overhead Cost) โดยประมาณของโครงการ (บาท)

$P_{OH}$ = ร้อยละของค่าโสหุ้ยเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

$DC$ = ค่าใช้จ่ายทางตรงของโครงการ (บาท)

$DAOH$ = ค่าโสหุ้ยที่เพิ่มขึ้นจากความล่าช้า (บาท)

$PD$ = ระยะเวลาก่อสร้างของโครงการ (วัน)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

นอกจากวิธีการทางสถิติและการใช้ประสบการณ์ดังที่กล่าวมา การประมาณค่าโสหุ้ยของโครงการยังสามารถทำได้ด้วยวิธีการที่ภาครัฐกำหนดที่เรียกว่า Factor F ซึ่งถูกกำหนดโดยคณะกรรมการกำกับนโยบายราคากลางของรัฐหรือราชการ (นพดล จอกแก้ว, 2560)

Factor F คือตัวประกอบสำหรับการคำนวณต้นทุนทางอ้อมของโครงการงานก่อสร้างภาครัฐ ซึ่งมูลค่าของ Factor F จะประกอบด้วย (1) ค่าอำนวยการ (2) ค่าดอกเบี้ย (3) ค่าภาษีคิดตามอัตราภาษีมูลค่าเพิ่ม (ปัจจุบันอัตราภาษีมูลค่าเพิ่มเท่ากับร้อยละ 7) และ (4) กำไร ซึ่งค่าของตัวประกอบแต่ละชนิดสามารถดูได้จากภาพที่ 5.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1

## ตาราง Factor F งานก่อสร้างอาคาร

| | | | |
|---|---|---|---|
| เงินล่วงหน้าจ่าย | 0 % | ดอกเบี้ยเงินกู้ | 5% |
| เงินประกันผลงานหัก | 0 % | ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) | 7% |

| ค่างาน (ทุน) ล้านบาท | ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานก่อสร้าง (%) | | | | รวมในรูป Factor | ภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) | Factor F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ค่าอำนวยการ | ค่าดอกเบี้ย | ค่ากำไร | รวมค่าใช้จ่าย | | | |
| ≤ 0.5 | 15.6878 | 0.8333 | 5.5000 | 22.0211 | 1.2202 | 1.0700 | 1.3056 |
| 1 | 15.4672 | 0.8333 | 5.5000 | 21.8005 | 1.2180 | 1.0700 | 1.3033 |
| 2 | 15.3236 | 0.8333 | 5.5000 | 21.6569 | 1.2166 | 1.0700 | 1.3017 |
| 5 | 15.0257 | 0.8333 | 5.5000 | 21.3590 | 1.2136 | 1.0700 | 1.2985 |
| 10 | 14.9669 | 0.8333 | 5.0000 | 20.8002 | 1.2080 | 1.0700 | 1.2926 |
| 15 | 11.7015 | 0.8333 | 5.0000 | 17.5348 | 1.1753 | 1.0700 | 1.2576 |
| 20 | 10.9900 | 0.8333 | 5.0000 | 16.8233 | 1.1682 | 1.0700 | 1.2500 |
| 25 | 8.9691 | 0.8333 | 4.5000 | 14.3024 | 1.1430 | 1.0700 | 1.2230 |
| 30 | 8.1867 | 0.8333 | 4.5000 | 13.5200 | 1.1352 | 1.0700 | 1.2147 |
| 40 | 8.1502 | 0.8333 | 4.5000 | 13.4835 | 1.1348 | 1.0700 | 1.2143 |
| 50 | 8.1389 | 0.8333 | 4.5000 | 13.4722 | 1.1347 | 1.0700 | 1.2142 |
| 60 | 7.7222 | 0.8333 | 4.0000 | 12.5555 | 1.1256 | 1.0700 | 1.2043 |
| 70 | 7.6191 | 0.8333 | 4.0000 | 12.4524 | 1.1245 | 1.0700 | 1.2032 |
| 80 | 7.6191 | 0.8333 | 4.0000 | 12.4524 | 1.1245 | 1.0700 | 1.2032 |
| 90 | 7.6108 | 0.8333 | 4.0000 | 12.4441 | 1.1244 | 1.0700 | 1.2032 |
| 100 | 7.6108 | 0.8333 | 4.0000 | 12.4441 | 1.1244 | 1.0700 | 1.2032 |
| 150 | 7.3615 | 0.8333 | 4.0000 | 12.1948 | 1.1219 | 1.0700 | 1.2005 |
| 200 | 7.3632 | 0.8333 | 4.0000 | 12.1965 | 1.1220 | 1.0700 | 1.2005 |
| 250 | 7.2751 | 0.8333 | 4.0000 | 12.1084 | 1.1211 | 1.0700 | 1.1996 |
| 300 | 7.1959 | 0.8333 | 3.5000 | 11.5292 | 1.1153 | 1.0700 | 1.1934 |
| 350 | 6.3974 | 0.8333 | 3.5000 | 10.7307 | 1.1073 | 1.0700 | 1.1848 |
| 400 | 6.3220 | 0.8333 | 3.5000 | 10.6553 | 1.1066 | 1.0700 | 1.1840 |
| 500 | 6.2743 | 0.8333 | 3.5000 | 10.6076 | 1.1061 | 1.0700 | 1.1835 |
| > 500 | 5.6692 | 0.8333 | 3.5000 | 10.0025 | 1.1000 | 1.0700 | 1.1770 |

หมายเหตุ
1. กรณีค่างานอยู่ระหว่างช่วงของค่างานต้นทุนที่กำหนด ให้เทียบอัตราส่วนเพื่อหาค่า Factor F หรือใช้สูตรคำนวณ
2. ถ้าเป็นงานเงินกู้หรือจากแหล่งอื่นซึ่งไม่ต้องชำระภาษีมูลค่าเพิ่ม ให้ใช้ Factor F ในช่อง "รวมในรูป Factor"

*ภาพที่ 5.1 Factor F งานก่อสร้างอาคาร (ที่มา: กรมบัญชีกลาง, 2563)*

ค. ค่าใช้จ่ายด้านการขยายระยะเวลาประกันที่ยืดออกไป

จากการศึกษาเอกสารสัญญาก่อรถไฟฟ้าสายสีชมพู ภายในสัญญามีการระบุว่าผู้รับสัมปทานจำเป็นต้องมีการซื้อประกันภัยตามที่ภาครัฐต้องการ ซึ่งประกันภัยที่ซื้อจะต้องครอบคลุมความเสี่ยงหลาย ๆ ด้าน ตัวอย่างประกันภัยที่จำเป็นสำหรับโครงการก่อสร้างคือ Construction All Risk

ทั้งนี้การซื้อประกันภัยในสัญญามีการระบุค่าใช้จ่ายสำหรับการซื้อประกันผู้รับสัมปทานต้องเป็นผู้รับชอบ อย่างไรก็ตามการประกันภัยจะครอบคลุมความเสี่ยงภายในช่วงระยะเวลาที่จำกัด หากการก่อสร้างใช้เวลานานเกินกว่าที่ประกันภัยครอบคลุม จะต้องมีการขยายระยะเวลาของประกันอันก่อให้เกิดรายจ่ายแก่ผู้รับสัมปทาน

เมื่อโครงการก่อสร้างเกิดความล่าช้า เจ้าของกรมธรรม์ซึ่งก็คือผู้รับสัมปทานจะต้องทำการขยายเวลาคุ้มครองของประกันภัยด้วย จากผลการสัมภาษณ์นาย กิตติกรณ์ ตันเปา ในเอกสารของมณฑิณี กล่าวว่า การขยายระเวลาประกันภัยสามารถทำได้เมื่อมีการชำระเบี้ยประกันภัยครบตามจำนวน ซึ่งการขยายเวลาประกันมีความจำเป็นจะต้องจ่ายเบี้ยประกันเพิ่มเติม โดยที่อัตราในการชำระเบี้ยประกันจะแปรผันตามมูลค่าความคุ้มครองของกรมธรรม์ หากโครงการใกล้จะแล้วเสร็จการต่ออายุกรมธรรม์อาจสามารถชำระเบี้ยประกันในมูลค่าที่ลดลงเนื่องจากความเสี่ยงต่อที่สิ่งประกันคุ้มครองลดลง ทั้งนี้การต่ออายุกรมธรรม์สามารถต่อได้เป็นระยะเวลาขั้นต่ำ 1 เดือน ดังนั้นมูลค่าเบี้ยประกันที่ต้องชำระรายวันสามารถหาได้จากสมการที่ 5.6

$$IED = IE \times t_{dl} \tag{5.6}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$IED$ = มูลค่าเบี้ยประกันที่ต้องชำระ (บาท)

$IE$ = มูลค่าเบี้ยประกันที่ต้องชำระต่อวัน (บาท/วัน)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

ง. ค่าใช้จ่ายจากการเรียกร้องของที่ปรึกษาโครงการ

โครงการก่อสร้างขนาดใหญ่มักจะมีการจัดจ้างที่ปรึกษาโครงการ เพื่อให้คำแนะนำและช่วยเหลือผู้ว่าจ้าง (ในกรณีนี้คือผู้รับสัมปทานและภาครัฐเจ้าของโครงการ) ในการดำเนินโครงการโดยความล่าช้าในการก่อสร้างอาจเป็นเหตุให้ผู้ว่าจ้างมีความจำเป็นต้องขยายระยะเวลาในการว่าจ้างที่ปรึกษาทำให้สูญเสียงบประมาณเพิ่มมากขึ้น

จากการศึกษาเอกสารของ (มณฑิณี ยิ่งเจริญ, 2553) พบว่าที่ปรึกษาที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ซึ่งในปัจจุบันสามารถประมาณการค่าใช้จ่ายในการจ้างที่ปรึกษาในแต่ละประเภท โดยอ้างอิงจาก หนังสือสำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี (2556) เรื่องหลักเกณฑ์ราคากลางการจ้างที่ปรึกษา ดังนี้

1. ที่ปรึกษาบริหารโครงการ ค่าจ้างอัตราร้อยละ 1.5 ของมูลค่างานก่อร้าง

2. ที่ปรึกษาควบคุมงานก่อสร้าง ค่าจ้างอัตราร้อยละ 2.5 ของมูลค่างานก่อร้าง

3. ที่ปรึกษาอิสระ ค่าจ้างอัตราร้อยละ 1.0 ของมูลค่างานก่อร้าง

หากพิจารณาจากจำนวนองค์ประกอบของที่ปรึกษาในโครงการสามารถประเมินมูลค่าความเสียหายอันเนื่องมาจากการขยายระยะเวลาสัญญาจ้างได้ดังนี้

$$CF = \frac{(PMC + CFC + ICE)}{PD} \times t_{dl} \tag{5.7}$$

$CF$ = มูลค่าความเสียหายจากการขยายระยะเวลาว่าจ้างที่ปรึกษาโครงการ (บาท)

$PMC$ = ค่าจ้างที่ปรึกษาบริหารโครงการ (บาท)

$CFC$ = ค่าจ้างที่ปรึกษาควบคุมการก่อสร้าง (บาท)

$ICE$ = ค่าจ้างที่ปรึกษาอิสระ (บาท)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

$PD$ = ระยะเวลาโครงการ (วัน)

เมื่อทำการรวบรวมผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการบริหารโครงการระหว่างช่วงการก่อสร้างจะสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$PIM = SD + DAOH + IED + CF \tag{5.8}$$

$PIM$ = ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการบริหารโครงการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$SD$ = ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากรโครงการที่เกิดจากความล่าช้า (บาท)

$DAOH$ = ค่าโสหุ้ยของโครงการ (บาท)

$IED$ = มูลค่าเบี้ยประกันที่ต้องชำระรายวัน (บาท)

$CF$ = มูลค่าความเสียหายจากการขยายระยะเวลาว่าจ้างที่ปรึกษาโครงการ (บาท)

2) ผลกระทบต่อการสูญเสียรายได้การใช้ประโยชน์จากโครงการ

ผลกระทบจากการความล่าช้าต่อการสูญเสียการใช้ประโยชน์ คือ การที่โครงการไม่สามารถใช้งานสิ่งปลูกสร้างหรือโครงการได้ตามวัตถุประสงค์ได้ตามที่วางแผนไว้ ซึ่งนับได้ว่าเป็นผลกระทบที่สำคัญมากเมื่อมีความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการเกิดขึ้น ตัวอย่างเช่นโครงการธุรกิจประเภทโรงแรม โดยเมื่อมีความล่าช้าในการก่อสร้างจะทำให้ผู้เข้าพักไม่สามารถเข้าพักกับโรงแรมในวันเวลาที่จองหรือตั้งใจจะไปเข้าพักได้ ซึ่งการที่ผู้เข้าพักไม่สามารถเข้าพักได้นั้นจะทำให้โรงแรมสูญเสียรายได้จากลูกค้า จึงถือว่าเป็นการสูญเสียจากการที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ของโรงแรม ที่มีวัตถุประสงค์หนึ่งคือเพื่อให้บริการแก่ผู้เข้าพัก

สำหรับการคำนวณผลกระทบต่อการสูญเสียการใช้ประโยชน์ของโครงการแต่ละประเภทอาจไม่สามารถทำในรูปแบบเดียวกันได้ทั้งหมดเนื่องจากสัญญาของแต่ละโครงการจะให้กรรมสิทธิ์ สิทธิ หน้าที่ และรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จะขอมุ่งเน้นไปที่โครงการประเภทรถไฟฟ้าเท่านั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก. ผลกระทบต่อรายได้จากค่าโดยสาร

สืบเนื่องจากวัตถุประสงค์ของการก่อสร้างระบบรถไฟฟ้าคือ เพื่อใช้เป็นระบบขนส่งมวลชน ความล่าช้าที่เกิดขึ้นย่อมส่งผลโดยตรงกับการใช้งานโครงการ เหตุเพราะประชาชนไม่สามารถเข้าใช้งานในระบบขนส่งรถไฟฟ้าได้ ทำให้ฝ่ายที่เป็นเจ้าของกรรมสิทธิ์ในค่าโดยสารเกิดการสูญเสียรายได้

การคำนวณรายได้ค่าโดยสารจะผันแปรไปตามตัวแปร 2 ตัวคือ (1) จำนวนผู้โดยสาร และ (2) อัตราค่าโดยสารเฉลี่ย (บริษัท บีทีเอส กรุ๊ป โฮลดิ้งส์ จำกัด (มหาชน) [BTS], 2560)

จากการศึกษาเอกสารดังกล่าว ส่วนของผู้โดยสารจะถูกจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ (1) ผู้โดยสารประเภท Boarding ซึ่งเป็นผู้โดยสารที่มาใช้บริการที่สถานีแรกของโครงการ

และ (2) ผู้โดยสารประเภท Transfer ซึ่งเป็นผู้โดยสารที่ทำการเปลี่ยนขบวนมาจากรถไฟฟ้าสายอื่นแล้วมาใช้งานรถไฟฟ้าสายดังกล่าว ทั้งนี้ความแตกต่างของประเภทผู้โดยสารจะไม่มีผลต่อการคำนวณรายได้จากค่าโดยสาร เพียงแต่ว่าประเภทของผู้โดยที่แตกต่างกันมีอัตราการเติบโตของจำนวนผู้ใช้งานต่างกัน

อัตราค่าโดยสารเฉลี่ยในแต่ละเที่ยวเป็นผลคูณจากการคำนวณระยะการเดินทางเฉลี่ยแต่ละเที่ยวของผู้โดยสารและค่าโดยสารต่อระยะทาง ดังนั้นผลกระทบต่อรายได้จากค่าโดยสารรายวันสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$SI = DPS \times ATC \times t_{dl} \qquad (5.9)$$

$SI$ = มูลค่าของโดยสารที่สูญเสียจากความล่าช้า (บาท)

$DPS$ = ปริมาณผู้โดยสารเฉลี่ยต่อวัน (เที่ยว/วัน)

$ATC$ = ราคาค่าตั๋วเฉลี่ย (บาท/เที่ยว)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

ข. ผลกระทบต่อรายได้เชิงพาณิชย์

ระบบรถไฟฟ้านอกจากรายได้จากค่าโดยสารแล้วยังมีรายได้จากการดำเนินกิจกรรมเชิงพาณิชย์อีกด้วย ซึ่งกิจกรรมสำคัญที่ก่อให้เกิดรายได้ประกอบด้วย ค่าบริการที่จอดรถ การให้เช่าพื้นที่ร้านค้าในบริเวณพื้นที่รถไฟฟ้า และรายได้จากการให้เช่าพื้นที่โฆษณา ทั้งนี้จากการรายงานการศึกษาของที่ปรึกษาทางการได้ใช้วิธีคาดการณ์จากสถิติ คือ รายได้เชิงพาณิชย์จะมีค่าประมาณเท่ากับร้อยละ 10 ของรายได้จากค่าโดยสาร

อย่างไรก็ตาม มณฑิณี ยิ่งเจริญ (2553) ได้เสนอแบบจำลองสำหรับคำนวณรายได้ของกิจกรรมเชิงพาณิชย์ดังกล่าวอย่างละเอียดมากขึ้น ทั้งนี้ผลจากการประมาณการโดยใช้แบบจำลองของมณฑิณี ยิ่งเจริญ (2553) อาจมีค่าไม่เท่ากับค่าประมาณร้อยละ 10 เนื่องจากความครบถ้วนและรายละเอียดของข้อมูล ดังนั้นในส่วนนี้จะนำเสนอแบบจำลองซึ่งประกอบไปด้วย

(1) รายได้จากค่าเช่าพื้นที่ภายในสถานี

โครงการรถไฟฟ้าหลายโครงการมักจะมีพื้นที่มากเพียงพอให้ประชาชนหรือบริษัทเอกชนเข้าไปเช่าพื้นที่ภายในสถานีเพื่อประกอบกิจการต่าง ๆ ทั้งนี้การเก็บค่าธรรมเนียมการเช่าพื้นที่มักจะเก็บตามขนาดพื้นที่ที่เช่าในหน่วยตารางเมตรต่อเดือน ดังนั้นเมื่อมีความล่าช้าเกิดขึ้นสามารถคำนวณผลกระทบต่อค่าเช่าพื้นที่ภายในสถานีได้ดังสมการที่ 5.10

$$LAR = AR \times LP \times T_{dl} \tag{5.10}$$

$LAR$ = มูลค่าความสูญเสียรายได้ค่าเช่าพื้นที่ภายในสถานี (บาท)

$AR$ = ขนาดของพื้นที่ให้เช่า (ตารางเมตร)

$LP$ = ค่าเช่าพื้นที่ (บาท/วัน-ตารางเมตร)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

(2) รายได้จากการให้เช่าพื้นที่ป้ายสำหรับโฆษณา

จากการใช้งานระบบรถไฟฟ้าจะเห็นได้ว่าภายในสถานีรถไฟฟ้าจะมีป้ายโฆษณาอยู่ภายในสถานี เพื่อที่จะใช้งานป้ายโฆษณาเจ้าของผลิตภัณฑ์ต้องทำการเช่าป้ายเพื่อทำการโฆษณา ซึ่งการคิดเช่าป้ายโฆษณารายเดือนจะคิดเป็นราคาบาทต่อป้ายโฆษณาต่อเดือน ดังนั้นผลกระทบต่อรายได้จากการให้เช่าพื้นที่ป้ายสำหรับโฆษณาสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$CAR = CAB \times PR \times T_{dl} \tag{5.11}$$

$CAR$ = รายได้จากค่าเช่าพื้นที่ป้ายโฆษณาที่สูญเสีย (บาท)

$CAB$ = จำนวนป้ายโฆษณาของสถานี

$PR$ = ราคาค่าเช่าป้าย (บาท/วัน-ป้าย)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

(3) รายได้จากค่าเช่าที่จอดรถ

นอกเหนือจากการให้เช่าพื้นที่โฆษณาแล้วในระบบรถไฟฟ้าบางสถานีจะมีการให้บริการที่จอดรถเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ประชาชนและผู้ที่มาใช้งานรถไฟฟ้า ซึ่งค่าเช่าที่จอดรถมักจะคิดราคาเป็นจำนวนชั่วโมงที่รถเข้ามาใช้บริการ เมื่อมีการก่อสร้างล่าช้าอาจส่งผลให้ไม่สามารถให้บริการที่จอดรถได้ทำให้สูญเสียรายได้ในส่วนดังกล่าว ทั้งนี้คำนวณรายได้จากค่าเช่าที่จอดรถสามารถทำได้ดังสมการที่ 5.12

$$PAR = PL \times CP \times PT \times T_{dl} \tag{5.12}$$

$PAR$ = รายได้จากค่าเช่าที่จอดรถที่สูญเสีย (บาท)

$PL$ = จำนวนช่องจอดรถที่ให้บริการ

$CP$ = ค่าธรรมเนียมที่จอด (บาท/ชั่วโมง)

$PT$ = ชั่วโมงที่ใช้บริการ (ชั่วโมง/วัน)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

เมื่อทำการรวบรวมสมการเพื่อประเมินมูลค่าการใช้ประโยชน์จากโครงการรายวัน สามารถสรุปได้เป็นสมการดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$DUV = LAR + CAR + PAR \tag{5.13}$$

CHULALONGKORN UNIVERSITY

$DUV$ = มูลค่าความเสียหายของรายได้เชิงพาณิชย์โครงการ (บาท)

$LAR$ = รายได้จากค่าเช่าพื้นที่สถานีที่สูญเสีย (บาท)

$CAR$ = รายได้จากค่าเช่าพื้นที่ป้ายโฆษณาที่สูญเสีย (บาท)

$PAR$ = รายได้จากค่าเช่าที่จอดรถที่สูญเสีย (บาท)

ทั้งนี้จากการศึกษาเอกสารของ (BTS, 2560) และ เอกสารการประเมินความเป็นไปได้ของโครงการของ (รฟม., 2560) พบว่ามีการประมาณมูลค่ารายได้เชิงพาณิชย์โดยใช้การเปรียบเทียบสัดส่วนกับมูลค่ารายได้จากค่าโดยสาร ซึ่งสัดส่วนสำหรับการประมาณนั้นในเอกสาร MRT

assessment standardization ได้กำหนดไว้ที่ 5% ของรายได้ค่าโดยสาร ในขณะที่รายงานจากที่ปรึกษาทางเงินของ BTS ระบุสัดส่วนดังกล่าวไว้ที่ 10%-15% ของรายได้ค่าโดยสาร โดยมีที่มาจากการศึกษารายงานงบการเงินของโครงการที่ดำเนินกิจการคล้ายคลึงกัน

ดังนั้นหากผู้ที่ทำการประเมินความเสียหายไม่มีข้อมูลสำหรับการใช้คำนวณตัวแปรต่าง ๆ ในสมการที่ 5.13 ผู้ประเมินสามารถใช้สัดส่วน 10-15% ของรายได้จากค่าโดยสารจากสมการ 5.14

$$DUV = e \times SI \tag{5.14}$$

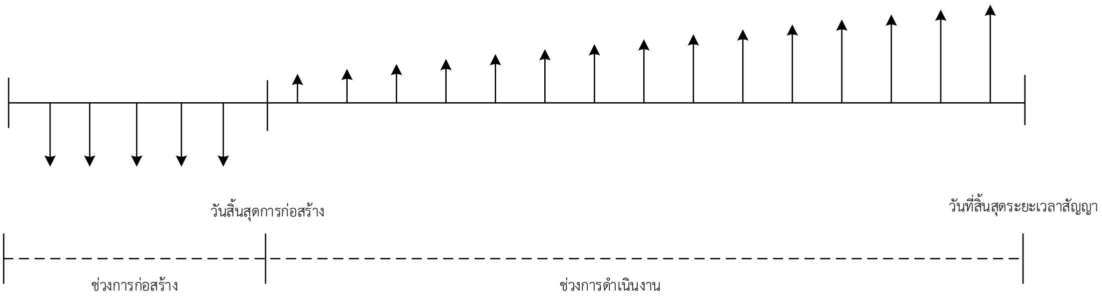
$DUV$ = มูลค่าความเสียหายของรายได้เชิงพาณิชย์โครงการ (บาท)

$e$ = สัดส่วนของรายได้เชิงพาณิชย์เมื่อเทียบกับมูลค่าของรายได้ค่าโดยสาร (ร้อยละ)

$SI$ = มูลค่าของรายได้ค่าโดยสารที่สูญเสียจากความล่าช้า (บาท)

อย่างไรก็ตามการคาดการณ์ผลกระทบต่อการใช้การใช้ประโยชน์ที่เกิดขึ้นยังมีประเด็นที่น่าสนใจคือ ความล่าช้าที่เกิดขึ้นทำให้บริษัทผู้รับสัมปทานสูญเสียระยะเวลาในการใช้ประโยชน์จากโครงการหรือไม่ หากความล่าช้าที่เกิดขึ้นดังกล่าวทำให้ผู้รับสัมปทานสูญเสียระยะเวลาในการใช้ประโยชน์ของโครงการ ผู้วิเคราะห์สามารถใช้สมการ ในหัวข้อที่ 1 และ 2 ได้ แต่ถ้าหากว่าความล่าช้าที่เกิดขึ้นไม่ได้ทำให้ผู้รับสัมปทานสูญเสียระยะเวลาในการใช้ประโยชน์ ซึ่งหมายความว่าผู้รับสัมปทานยังคงสามารถให้บริการระบบขนส่งและดำเนินการเชิงพาณิชย์ได้จนครบระยะเวลาสัญญา เพียงแต่ว่าความล่าช้าที่เกิดขึ้นส่งผลให้การรับรู้รายได้ช้าลงไป ซึ่งผู้เขียนจะขอเสนอแผนภาพที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของการรับรู้รายได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของโครงการซึ่งจะเป็นไปดังภาพที่ 5.2 ภาพที่ 5.3 และภาพที่ 5.4

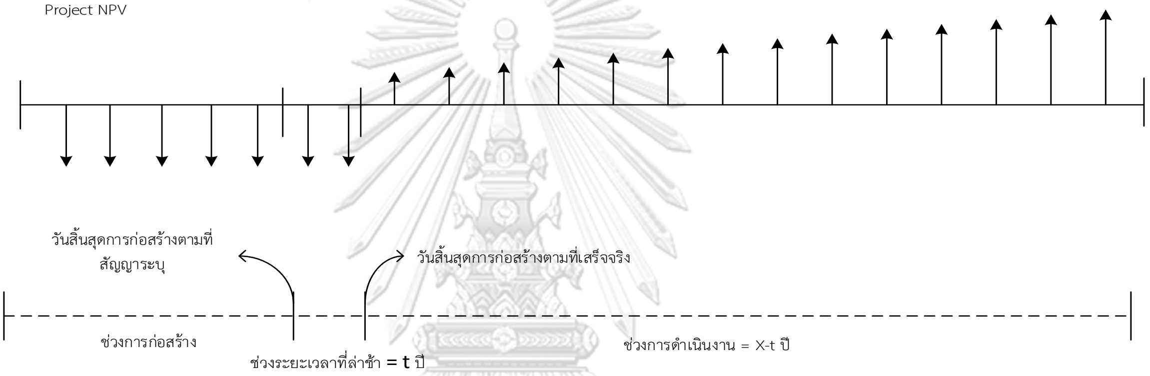
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




*ภาพที่ 5.2 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเงินและช่วงเวลาของโครงการ*

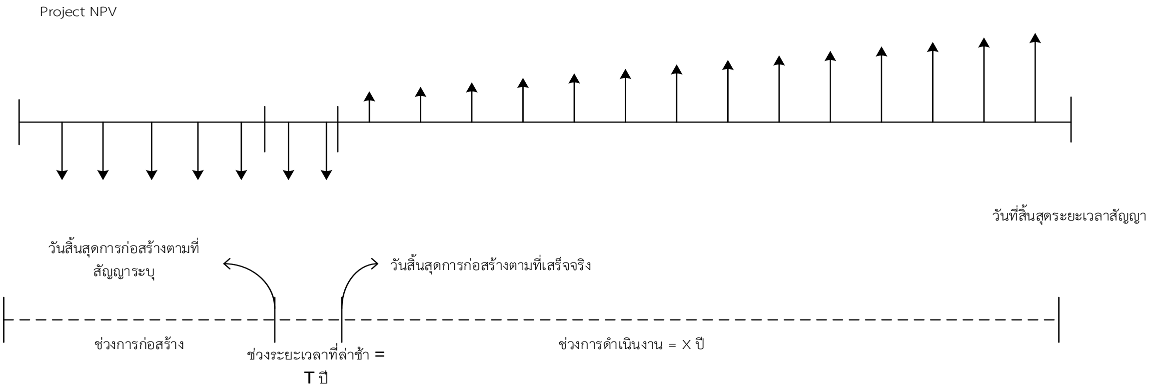
จากภาพที่ 5.2 ช่วงเวลาของโครงการตามสัญญาจะถูกแบ่งออก 2 ช่วงคือช่วงการก่อสร้าง และ ช่วงการดำเนินงาน ทั้งนี้กระแสเงินสดของโครงการจะถูกแทนที่ด้วยลูกศรที่มีทิศชี้ขึ้นบนและชี้ลงด้านล่างซึ่งแทนที่ด้วยกระแสเงินสดที่ไหลออกและไหลเข้าโครงการตามลำดับ

เมื่อการก่อสร้างเกิดความล่าช้าจะทำให้ช่วงเวลาที่กระแสการเงินไหลออกนานมากขึ้นเป็นระยะเวลา t อย่างไรก็ตามแนวทางการคาดการณ์ผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์จากโครงการยังมีสิ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมคือความล่าช้านั้นเป็นเหตุให้ลดระยะเวลาในการดำเนินการหรือไม่ หากความล่าช้าที่เกิดขึ้นเป็นผลให้ระยะเวลาในการดำเนินงานลดลงดังภาพที่ 5.3 ผู้คาดการณ์สามารถคำนวณผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยใช้สมการในหัวข้อนี้




*ภาพที่ 5.3 การประเมินผลกระทบเมื่อเกิดความล่าช้าในการก่อสร้างลดระยะเวลาให้บริการ*

แต่ถ้าหากความล่าช้าที่เกิดขึ้นไม่กระทบต่อระยะเวลาดำเนินงานแต่จะทำให้การรับรู้รายได้เลื่อนออกดังภาพที่ 5.4 ทำให้สามารถคาดการณ์ผลกระทบโดยการเปรียบเทียบโดยใช้มูลค่าของเงินตามเวลา (Net Present Value หรือ NPV) ที่สูญเสีย




*ภาพที่ 5.4 การประเมินผลกระทบเมื่อเกิดความล่าช้าในการก่อสร้างก่อให้เกิดการรับรู้รายได้ช้าลง*

3) ผลกระทบทางด้านการเงิน

เนื่องจากโครงการรถไฟฟ้าเป็นโครงการที่มีการลงทุนสูง (Capital Intensive) ดังนั้นเพื่อลดภาระในการลงทุนของภาครัฐหรือเอกชนผู้รับสัมปทาน ฝ่ายต่าง ๆ ดังกล่าวจึงได้ทำการกู้ยืมเงินกับสถาบันการเงินที่ซึ่งเป็นแหล่งเงินทุนจากทั้งในและต่างประเทศ อีกทั้งข้อดีของการกู้ยืมเงินจะทำให้อัตราส่วนผลตอบแทนต่อส่วนของผู้ถือหุ้น (ROE) มีค่าสูงขึ้นโดยเปรียบเทียบกับการลงทุนแบบไม่มีการกู้ยืมที่ผลตอบแทนเท่ากัน

ทั้งนี้การกู้เงินจำเป็นต้องมีการชำระเงินคืนตามวันเวลากำหนด เมื่อมีความล่าช้าในการก่อสร้างเกิดขึ้นย่อมส่งผลต่อการรับรู้รายได้ของบริษัท ซึ่งอาจทำให้บริษัทไม่สามารถสร้างรายได้เพื่อไปชำระเงินกู้ได้

จากที่กล่าวมาจะพบว่าผลกระทบทางด้านการเงินเป็นผลกระทบที่เด่นชัดและยิ่งไปกว่านั้นยังเป็นสิ่งที่โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูกำลังเผชิญอยู่ในปัจจุบัน จากการศึกษาเอกสารของมณฑิณี ยิ่งเจริญ (2553) ที่ได้ศึกษาบทความของธนาคารกรุงไทยว่าด้วยเรื่องการคำนวณดอกเบี้ยเงินกู้และจากการค้นคว้าข้อมูลของผู้วิจัย สรุปได้ว่าเมื่อมีความล่าช้าในการก่อสร้างจะส่งผลกระทบต่อการชำระเงินกู้ 2 รายการ ประกอบด้วย (1) ดอกเบี้ยการผิดนัดชำระหนี้ และ (2) ความเสียหายจากอัตราดอกเบี้ยที่เพิ่มขึ้น

ก. ดอกเบี้ยการผิดนัดชำระหนี้

การผิดนัดชำระหนี้ คือการที่ผู้กู้ยืมไม่ชำระหนี้ภายในวันที่กำหนดด้วยสาเหตุประการใดก็ตาม ซึ่งการก่อสร้างล่าช้าอาจเป็นเหตุให้เอกชนผู้รับสัมปทานไม่สามารถสร้างรายได้จากการใช้ประโยชน์ของโครงการจนขาดสภาพคล่อง ทำให้ไม่สามารถชำระหนี้สินภายในวันที่กำหนดได้

การผิดนัดชำระหนี้ทำให้สถาบันการเงินที่เป็นผู้ให้กู้จำเป็นต้องทำการปรับผู้ที่ผิดนัดชำระ ทั้งนี้เพื่อให้สถาบันการเงินทำการเรียกดอกเบี้ยการผิดนัดชำระคู่กรณีอย่างเป็นธรรม ธนาคารแห่งประเทศไทย (2563) จึงได้กำหนดแนวทางในการคิดมูลค่าของดอกเบี้ยดังกล่าวโดยใช้สมการดังสมการที่ 5.15

$$DI = PP \times (IP - IR) \times \frac{t_{dl}}{365} \tag{5.15}$$

$DI$ = ดอกเบี้ยผิดนัดชำระหนี้ (บาท)

$PP$ = เงินต้นในงวดที่ผิดนัด (บาท)

$IP$ = ดอกเบี้ยผิดนัด (ร้อยละ)

$IR$ = ดอกเบี้ยประจำงวด (ร้อยละ)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

ข. ความเสียหายจากอัตราดอกเบี้ยที่เพิ่มขึ้น

นอกจากการชำระเงินกู้ล่าช้าแล้ว สิ่งที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการกู้เงินที่มีระยะการชำระเงินกู้นานความเสี่ยงที่อัตราดอกเบี้ยจะถูกปรับให้สูงขึ้นอันเนื่องมาจากสภาวะเศรษฐกิจไม่เอื้ออำนวยหรือเกิดปัญหาในตลาดเงิน ฯลฯ เมื่อการก่อสร้างล่าช้าอาจทำให้ระยะเวลาชำระเงินกู้ขยายออกไป ทำให้มีความเสี่ยงที่อัตราดอกเบี้ยเงินกู้จะสูงขึ้น ซึ่งสามารถหาดอกเบี้ยเงินกู้ที่เพิ่มขึ้นจากอัตราเงินกู้ได้จากสมการที่ 5.17

$$INC = RP \times \frac{\left(IR_i - IR_0\right)}{365} \times t_{dl} \tag{5.16}$$

$INC$ = ความเสียหายจากดอกเบี้ยที่เพิ่มขึ้น (บาท)

$RP$ = เงินต้นคงเหลือ (บาท)

$IR_i$ = อัตราดอกเบี้ยในปีที่ i (ร้อยละ)

$IR_0$ = อัตราดอกเบี้ยก่อนที่จะถูกปรับ (ร้อยละ)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

### 5.2 ผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจสังคมจากความล่าช้าในการก่อสร้าง

โครงการโครงสร้างพื้นฐานมักจะเป็นโครงการที่มีขนาดใหญ่ และสามารถสร้างคุณประโยชน์ให้แก่ผู้ใช้งานได้ไม่มากก็น้อย อย่างไรก็ตามการก่อสร้างโครงการขนาดใหญ่ย่อมส่งผลกระทบต่อทั้งประชาชนทั้งในพื้นที่และที่สัญจรผ่านไปมา อีกทั้งยังส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบโครงการอีกด้วย เนื่องจากการใช้งานเครื่องจักรขนาดใหญ่อาจสร้างเสียงดังรำคาญ และก่อฝุ่นละออง เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ทั้งนี้โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ามักจะมีพื้นที่ก่อสร้างอยู่บนถนนที่มีผู้คนใช้สัญจรเป็นปกติและบางส่วนก็อยู่ใกล้กับแหล่งชุมชนหรือย่านธุรกิจ ดังนั้นการก่อสร้างรถไฟฟ้าในพื้นที่ดังกล่าวจึงอาจก่อให้เกิดผลกระทบเช่นการจราจรติดขัด ก่อมลพิษด้านต่าง ๆ ยิ่งไปกว่านั้นหากการก่อสร้างเกิดความล่าช้าขึ้นจะทำให้ก่อปัญหายืดเยื้อ ซึ่งในบทนี้จะทำการเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้สำหรับการคำนวณผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความล่าช้าให้อยู่ในรูปของตัวเงิน

### 5.2.1 ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่ประหยัดได้

จุดประสงค์หนึ่งของการก่อสร้างรถไฟฟ้าคือเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยานและช่วยประหยัดเวลาเดินทางของผู้ใช้ยานพาหนะ ซึ่งสิ่งเหล่านี้มักจะถูกนำมาวิเคราะห์ในส่วนของผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของโครงการ อย่างไรก็ตามการนำเสนอแบบจำลองในส่วนนี้ไม่ได้ทำในมุมมองของผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการ แต่จะเป็นการนำเสนอในเชิงของผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อมีการก่อสร้างโครงการดังกล่าว เนื่องจากการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการปิดบางส่วนของถนนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทำให้มีจำนวนช่องถนนสำหรับการจราจรน้อยลงเป็นเหตุให้ยานพาหนะต้องใช้ความเร็วต่ำกว่าปกติ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการประหยัดเวลาในการเดินทางและเกิดค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยานได้อย่างชัดเจน (วิศณุ ทรัพย์สมพล, 2542)

ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่ประหยัดได้ สามารถจำแนกได้เป็น 3 ส่วนประกอบด้วย (1) ค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยาน (2) มูลค่าเวลาของผู้ใช้รถ (3) ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุ ซึ่งแบบจำลองในการคำนวณผลกระทบดังกล่าวจะถูกแสดงในส่วนถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก. ค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยาน

ค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยานคือ ค่าใช้จ่ายของการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ สำหรับการเดินทาง ตัวอย่างเช่น ค่ามันมันเครื่อง ค่ายางรถ และค่าน้ำมันรถ เป็นต้น สำหรับการคำนวณผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยานที่เกิดจากการก่อสร้าง วิศณุ ทรัพย์สมพล (2542) ได้ใช้แนวคิดเรื่องของความเร็วที่แตกต่างในการสัญจรผ่านพื้นที่ก่อสร้างในการพัฒนาแบบจำลอง ซึ่งเหตุที่ วิศณุ ทรัพย์สมพล (2542) ใช้แนวคิดดังกล่าวเนื่องจากการเขตก่อสร้างในบางแห่งจะใช้พื้นที่ของถนนบางช่องทาง ทำให้ยานพาหนะที่สัญจรผ่านพื้นที่ก่อสร้างมีความเร็วที่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงที่ไม่มีการก่อสร้าง จากแนวคิดดังกล่าวสามารถคำนวณผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านการใช้ยวดยานได้ดังสมการที่ 5.17

$$\Delta VOC = L \times ADT \times (VOCa - VOCn) \quad (5.17)$$

$\Delta VOC$ = ค่าใช้จ่ายในการใช้รถที่เพิ่มขึ้น (บาท/ชั่วโมง)

$L$ = ระยะทางที่ได้รับผลกระทบทางการจราจร (กิโลเมตร)

$ADT$ = ปริมาณการจราจรเฉลี่ย (คัน/กิโลเมตร หรือ PCU/กิโลเมตร)

$VOCa$ = ค่าใช้จ่ายในการใช้รถ ที่ความเร็วหนึ่งในช่วงที่มีการก่อสร้าง (บาท/คัน-กิโลเมตร หรือ บาท/PCU-กิโลเมตร)

$VOCn$ = ค่าใช้จ่ายในการใช้รถ ที่ความเร็วหนึ่งในช่วงก่อนการก่อสร้าง (บาท/คัน-กิโลเมตร หรือ บาท/PCU-กิโลเมตร)

ทั้งนี้ผลจากการศึกษาข้อมูลจาก (การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย [รฟม.], 2560) ได้ให้ บริษัท ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเมนท์ จำกัด (TEAM Group) เป็นผู้รับผิดชอบในการประเมินความเป็นไปได้ของโครงการ รวมไปถึงการวิเคราะห์คุ้มค่าทางเศรษฐกิจด้วย ซึ่งค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่ประหยัดได้ก็นับเป็นส่วนประกอบหนึ่งในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของโครงการเช่นกัน โดย TEAM Group ได้ใช้สมการในการประเมินมูลค่าการประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยานดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$VOC_{saving} = (VOC_o \times VKT_o) - (VOC_p \times VKT_p) \quad (5.18)$$

$VOC_{saving}$ = มูลค่าการประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะ (บาท/วัน)

$VOC_o$ = ค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะในการเดินทางของยานพาหนะตัวแทน กรณีไม่มีโครงการ ($o$) (บาท/PCU-กิโลเมตร)

$VOC_p$ = ค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะในการเดินทางของยานพาหนะตัวแทน กรณีที่มีโครงการ ($p$) (บาท/PCU-กิโลเมตร)

$VKT_o$ = ระยะทางรวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีไม่มีโครงการ ($o$) (PCU-กิโลเมตร/วัน)

$VKT_p$ = ระยะทางรวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีที่มีโครงการ ( $p$ )

(PCU-กิโลเมตร/วัน)

ซึ่งค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะในการเดินทางของยานพาหนะตัวแทนจะแปรผันตามความเร็วของยานพาหนะในระบบดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะที่ระดับความเร็วต่าง ๆ (ที่มา: รฟม., 2560)

| ความเร็ว(กม./ชม.) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ค่า VOC (บาท/PCU-กิโลเมตร) | 16.4 | 9.79 | 7.70 | 6.74 | 6.21 | 5.97 | 5.88 | 5.90 |

อย่างไรก็ตาม TEAM Group ไม่ได้กล่าวว่าอ้างอิงจากแหล่งข้อมูลใด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติม แล้วพบว่าสมการที่ TEAM Group นำมาใช้มีพื้นฐานมาจากสมการทั่วไปในการประเมินค่า VOC รวมของทั้งระบบ ผู้เขียนได้นำสมการในการประเมินค่า VOC รวมทั้งระบบโดย (Sinha and Labi, 2011) ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้

$$VOC_{total} = VOC_{unit} \times VKT \tag{5.19}$$

$VOC_{total}$ = มูลค่าการใช้ยานพาหนะรวมทั้งระบบ (บาท)

$VOC_{unit}$ = มูลค่าการใช้ยานพาหนะต่อหน่วย (บาท/PCU-กิโลเมตร)

$VKT$ = ระยะทางรวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทาง

(PCU-กิโลเมตร)

เมื่อนำสมการที่ 5.19 มาพิจารณาจะทำให้สมการของ TEAM Group สมเหตุสมผลเนื่องจากสมการดังกล่าวใช้หลักการของผลต่างของค่า VKT ในช่วงก่อนที่จะมีโครงการ และ ช่วงที่โครงการแล้วเสร็จทำให้ได้ผลลัพธ์ในรูปมูลค่าการประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะ

ทั้งนี้มูลค่าที่ได้จากสมการที่ 5.18 เป็นมูลค่าการประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะรายวัน อย่างไรก็ตามเมื่อโครงการเกิดความล่าช้าย่อมหมายถึงการที่โครงการสูญเสียการสร้างประโยชน์ในการประหยัดค่าใช้จ่ายจากการใช้ยานพาหนะ ดังนั้นมูลค่าการสูญเสียค่าใช้จ่ายในการยานพาหนะจากความล่าช้าเท่ากับสมการที่ 5.20

$$VOC_{Loss} = \left[(VOC_o \times VKT_o) - (VOC_p \times VKT_p)\right] \times t_{dl} \tag{5.20}$$

$VOC_{Loss}$ = มูลค่าความสูญเสียการประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะ (บาท)

$VOC_o$ = ค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะในการเดินทางของยานพาหนะตัวแทนกรณีไม่มีโครงการ ( $o$ ) (บาท/PCU-กิโลเมตร)

$VOC_p$ = ค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะในการเดินทางของยานพาหนะตัวแทนกรณีที่มีโครงการ ( $p$ ) (บาท/PCU-กิโลเมตร)

$VKT_o$ = ระยะทางรวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีไม่มีโครงการ ( $o$ ) (PCU-กิโลเมตร/วัน)

$VKT_p$ = ระยะทางรวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีที่มีโครงการ ( $p$ ) (PCU-กิโลเมตร/วัน)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

ข. มูลค่าเวลาของผู้ใช้รถ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากที่ได้กล่าวไว้ในส่วนก่อนหน้านี้ การก่อสร้างจำเป็นต้องมีการปิดถนนบางส่วนทำให้มีช่องทางจราจรน้อยลง อาจก่อให้เกิดปัญหาการจราจรหนาแน่นไปจนถึงการจราจรติดขัดทำให้ผู้ใช้รถสูญเสียเวลาบนท้องถนนมากขึ้น ซึ่งเวลาที่เสียไปผู้ใช้รถสามารถนำไปสร้างประโยชน์หรือสร้างโอกาสในการทำกิจกรรมอื่น ๆ ได้

สำหรับการพัฒนาแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อมูลค่าเวลาของผู้ใช้รถ ที่ผ่านมามีการเสนอแบบจำลองหลากหลายรูปแบบแต่ก็มีการใช้หลักแนวคิดในการพัฒนาที่คล้ายคลึงกัน ดังเช่น Zhu et al. (2009) ได้ใช้แนวคิดเรื่องค่าเสียโอกาสอันเนื่องจากเวลาที่สูญเสียบนท้องถนนเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเร็วระหว่างการก่อสร้างและหลังก่อสร้างดังสมการ 5.21

$$\Delta H_c = M_c O_c \left[\frac{1}{S_0} - \frac{1}{S_1}\right] \tag{5.21}$$

$\Delta H_c$ = มูลค่าเวลาในการเดินทางที่ประหยัดได้ของผู้ใช้ยานพาหนะประเภท $c$ (บาท/คัน-กิโลเมตร)

$M_c$ = มูลค่าของเวลาต่อหน่วยของผู้ที่เดินทางด้วยยานพาหนะประเภท $c$ (บาท/ชั่วโมง)

$O_c$ = จำนวนผู้โดยสารภายในยานพาหนะเฉลี่ย (คน/คัน)

$S_0$ = ความเร็วในการสัญจรก่อนมีการก่อสร้าง (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

$S_1$ = ความเร็วในการสัญจรภายหลังการก่อสร้าง (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

นอกจากแนวคิดของ (Zhu et al., 2009) ก็ยังมีแนวคิดของ วิษณุ ทรัพย์สมพล (2542) ที่ระบุว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อมูลค่าเวลาของผู้ใช้รถ คือความเร็วที่เปลี่ยนไปเมื่อโครงการทำการก่อสร้าง โดยจากแนวคิดดังกล่าว วิศณุ ทรัพย์สมพล (2542) ได้สร้างแบบจำลองดังสมการ 5.22

$$DDC = \left(\frac{L}{Sa} - \frac{L}{Sn}\right) \times ADT \times W \tag{5.22}$$

$DDC$ = ต้นทุนเวลาของผู้ใช้รถ (บาท)

$Sa$ = ความเร็วในการเดินทางระหว่างการก่อสร้าง (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

$Sn$ = ความเร็วในการเดินทางก่อนการก่อสร้าง (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

$L$ = ระยะทางในการก่อสร้าง (กิโลเมตร)

$ADT$ = ปริมาณการจราจร (คัน/ชั่วโมง หรือ PCU/ชั่วโมง)

$W$ = มูลค่าของเวลา (บาท/คัน-ชั่วโมง หรือ บาท/PCU-ชั่วโมง)

ต่อมา พันธ์ศักดิ์ ดาวเรือง (2547) ได้พัฒนาแนวคิดของ (วิศณุ ทรัพย์สมพล, 2542) เพิ่มเติม โดยเสริมแนวคิดในส่วนของผลประโยชน์ที่เมื่อโครงการเสร็จสิ้นแล้ว สภาพถนนจะดีขึ้นทำให้มีความเร็วมากขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังสมการที่ 5.23

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$UTC = \left[\left(\frac{L}{Sb} - \frac{L}{Sa}\right) + \left(\frac{Le}{Sc} - \frac{Le}{Sb}\right)\right] \times V \times W \tag{5.23}$$

$UTC$ = ต้นทุนเวลาของผู้ใช้รถ (บาท)

$Sa$ = ความเร็วในการเดินทางก่อนการก่อสร้าง (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

$Sb$ = ความเร็วในการเดินทางหลังการก่อสร้าง (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

$Sc$ = ความเร็วในการเดินทางระหว่างการก่อสร้าง (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

$L$ = ระยะทางในการก่อสร้าง (กิโลเมตร)

$Le$ = ระยะทางที่มีผลกระทบจากการก่อสร้าง (กิโลเมตร)

$V$ = ปริมาณการจราจร (คัน/ชั่วโมง หรือ PCU/ชั่วโมง)

$W$ = มูลค่าของเวลา (บาท/คัน-ชั่วโมง หรือ บาท/PCU-ชั่วโมง)

ในส่วนของการประเมินมูลค่าการประหยัดเวลา TEAM Group ไม่ได้อ้างอิงถึงที่มาของสมการ แต่สมการดังกล่าวเป็นสมการที่ใช้กันในกรมทางหลวงรวมไปถึงงานวิจัยในไทยหลายฉบับก็มีการใช้สมการดังกล่าว จึงถือว่ามีความน่าเชื่อถือพอสมควร ทั้งนี้สมการสำหรับการประเมินมูลค่าการประหยัดเวลามีลักษณะดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$VOT_{saving} = (VOT \times VHT_o) - (VOT \times VHT_p) \tag{5.24}$$

$VOT_{saving}$ = มูลค่าการประหยัดเวลาในการเดินทาง (บาท/วัน)

$VOT$ = มูลค่าเวลาของผู้เดินทางในพื้นที่ศึกษา (บาท/PCU-ชั่วโมง)

$VHT_o$ = ระยะเวลารวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีไม่มีโครงการ ( $o$ ) (PCU-ชั่วโมง/วัน)

$VHT_p$ = ระยะเวลารวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีที่มีโครงการ ( $p$ ) (PCU-ชั่วโมง/วัน)

ทั้งนี้มูลค่าที่ได้จากสมการที่ 5.24 เป็นมูลค่าการประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะรายวัน อย่างไรก็ตามเมื่อโครงการเกิดความล่าช้าย่อมหมายถึงการที่โครงการสูญเสียการสร้างประโยชน์ในการประหยัดค่าใช้จ่ายจากการใช้ยานพาหนะ ดังนั้นมูลค่าการสูญเสียค่าใช้จ่ายในการยานพาหนะจากความล่าช้าเท่ากับสมการที่ 5.25

$$VOT_{Loss} = \left[(VOT \times VHT_o) - (VOT \times VHT_p)\right] \times t_{dl} \quad (5.25)$$

$VOT_{Loss}$ = มูลค่าการสูญเสียการประหยัดเวลาในการเดินทาง (บาท)

$VOT$ = มูลค่าเวลาของผู้เดินทางในพื้นที่ศึกษา (บาท/PCU-ชั่วโมง)

$VHT_o$ = ระยะเวลารวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีไม่มีโครงการ ($o$) (PCU-ชั่วโมง/วัน)

$VHT_p$ = ระยะเวลารวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีที่มีโครงการ ($p$) (PCU-ชั่วโมง/วัน)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

ค. ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุ

ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุ หมายถึงค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีอุบัติเหตุ ซึ่งค่าใช้จ่ายเหล่านี้ประกอบด้วยค่ารักษาพยาบาล มูลค่าของชีวิตและทรัพย์สินที่เสียหาย และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องจากอุบัติเหตุ ถึงแม้ว่าการคำนวณค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก แต่ก็มีนักวิจัยหลายท่านที่ทำการศึกษาวิธีการประมาณค่าใช้จ่ายในส่วนดังกล่าว

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่าการประมาณค่าใช้จ่ายเนื่องจ่ายอุบัติเหตุสามารถทำได้หลายวิธี โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะขอนำเสนอเพียงบางวิธีเท่านั้น

Daniels et al. (1999) ได้กล่าวว่า ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุเป็นค่าที่สะท้อนองค์ประกอบ 3 ส่วน อันประกอบด้วย อุบัติเหตุที่รุนแรงถึงชีวิต อุบัติเหตุที่ไม่รุนแรงถึงชีวิต และอุบัติเหตุที่สร้างความเสียหายแก่ทรัพย์สินเท่านั้น อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Daniels ระบุว่าอุบัติเหตุที่สร้างความเสียหายแก่ทรัพย์สินเท่านั้นสามารถทำการปรับแก้ได้ด้วยการคูณตัวประกอบปรับแก้เนื่องจาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อุบัติเหตุชนิดดังกล่าวบางอุบัติเหตุอาจไม่มีการรายงานให้ทราบ จากที่กล่าวมาการประมาณค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุด้วยวิธีของ Daniels et al. (1999) ทำได้ดังสมการ 5.26

$$AC = FA + NFA + (PDO)\mathrm{x} \tag{5.26}$$

$AC$ = มูลค่าอุบัติเหตุ (บาท)

$FA$ = อุบัติเหตุที่รุนแรงถึงชีวิต (บาท)

$NFA$ = อุบัติเหตุที่ไม่รุนแรงถึงชีวิต (บาท)

$PDO$ = อุบัติเหตุที่สร้างความเสียหายแก่ทรัพย์สินเท่านั้น (บาท)

x = ตัวประกอบปรับแก้เนื่องจากอุบัติเหตุที่ไม่ได้รับการรายงาน

จากการศึกษาของ Zhu et al. (2009) เขาได้กล่าวว่า สมการของ Daniels ค่อนข้างเป็นสมการที่มีความท้าทายสำหรับการหาผลกระทบที่เกิดขึ้นเฉพาะกับส่วนที่มีการก่อสร้าง เนื่องจากการศึกษาเกี่ยวกับอุบัติเหตุทางการจราจรในเขตงานก่อสร้างมีจำนวนไม่มาก อีกทั้งข้อมูลสำหรับการประมาณค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุในเขตงานก่อสร้างมีจำนวนน้อย ดังนั้น Zhu et al. (2009) จึงได้พัฒนาสมการเพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งแสดงได้ดังสมการ 5.27

$$A_{wz} = \frac{A \times R_{wz} \times AADT \times L}{1,000,000} \times C \tag{5.27}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$A_{wz}$ = มูลค่าความเสียหายเนื่องจากอุบัติเหตุในเขตก่อสร้าง (บาท)

$A$ = อัตราการชน (ครั้ง/ล้านคัน-กิโลเมตร)

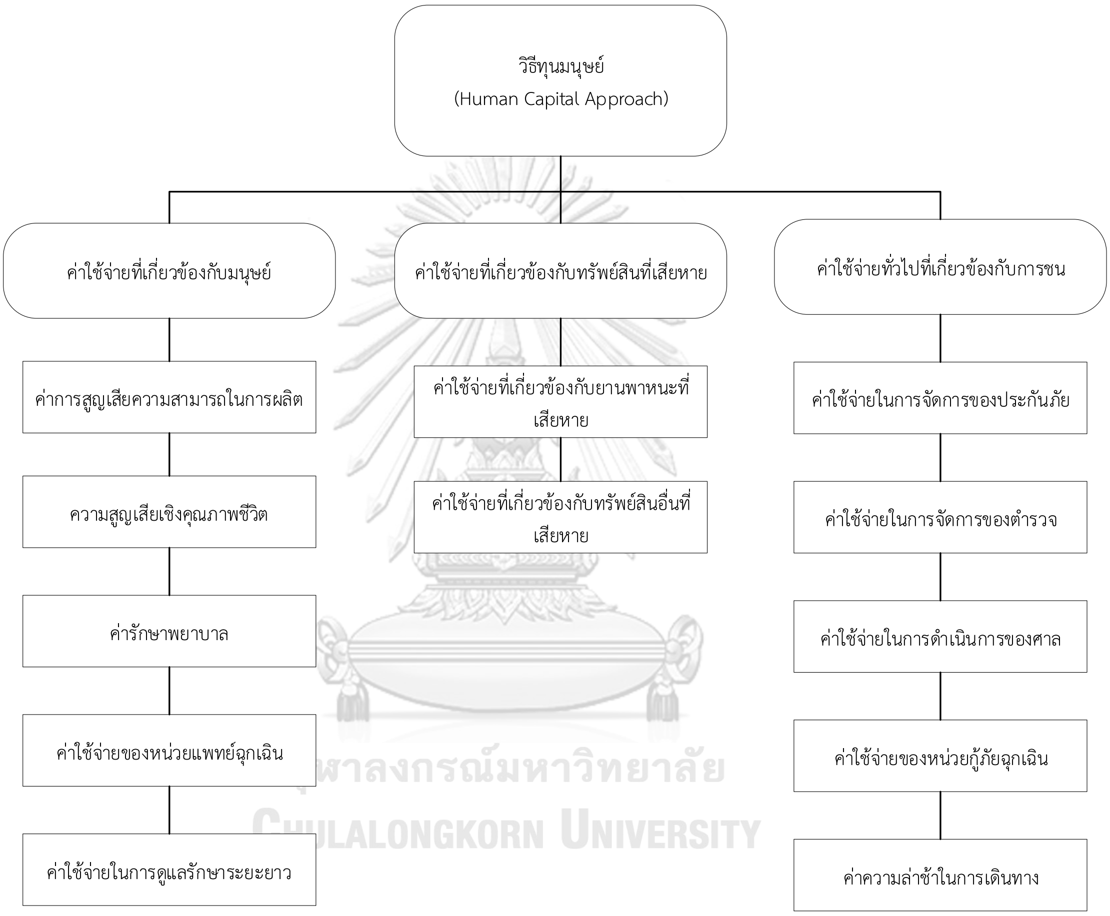
$R_{wz}$ = การเปลี่ยนแปลงของความถี่ในการการเกิดอุบัติเหตุในเขตก่อสร้าง ระหว่างช่วงก่อนที่จะมีโครงการและระหว่างที่มีโครงการ (ร้อยละ)

$AADT$ = ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน (คัน/วัน)

$L$ = ระยะทางที่มีการก่อสร้าง (กิโลเมตร)

$C$ = ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุ (บาท)

ในประเทศไทย สำนักอำนวยความปลอดภัย เป็นผู้ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุทางการจราจรโดยใช้วิธีที่เรียกว่า วิธีต้นทุนมนุษย์ (Human Capital approach) ซึ่งวิธีการนี้จะจำแนกค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากอุบัติเหตุออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย (1) ส่วนของค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์ (2) ส่วนของค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับทรัพย์สินที่เสียหาย (3) ส่วนค่าใช้จ่ายทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับการชน ทั้งนี้ในแต่ละส่วนจะมีรายละเอียดดังภาพที่ 5.5




*ภาพที่ 5.5 วิธีต้นทุนมนุษย์ (ที่มา: กรมทางหลวง, 2560)*

2) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การก่อสร้างโครงการโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ เช่น โครงการระบบรถไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการใช้วัสดุก่อสร้าง แรงงานและเครื่องจักรจำนวนมาก อย่างไรก็ตามกิจกรรมต่าง ๆ ภายในหน่วยงานก่อสร้างย่อมมีการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นโดยรอบของโครงการอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ดังนั้นจึงต้องมีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อศึกษาผลกระทบเชิงบวกและเชิงลบของโครงการอีกทั้งเพื่อการเตรียมการรับมือกับผลกระทบที่เกิดขึ้นอีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทั้งนี้จากการศึกษาเอกสารศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการพบว่าแนวทางในการประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของโครงการ TEAM Group ได้ใช้วิธีคำนวณมูลค่าการลดค่าใช้จ่ายทางด้านสิ่งแวดล้อมในการประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิธีดังกล่าวในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1. ต้นทุนค่ากำจัดมลภาวะทางอากาศจากการใช้ยานพาหนะ

ปัจจุบันปัญหาหนึ่งที่เป็นประเด็นในการใช้ยานพาหนะคือ การก่อมลพิษทางอากาศ โดยที่มลพิษดังกล่าวสามารถสร้างผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นการกำจัดมลพิษที่เกิดขึ้นจึงมีความจำเป็นอย่างมาก

Mccubbin and Delucchi (1999) ได้ทำการศึกษาวิธีประเมินมูลค่าของมลภาวะทางอากาศที่เกิดจากยานพาหนะ ซึ่งมีขั้นตอนในการศึกษา 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย

1. การประมาณมลภาวะที่เกิดจากยานพาหนะ

2. การประมาณการเปลี่ยนแปลงของภาวะในอากาศ

3. การหาความสัมพันธ์ระหว่างมลภาวะทางอากาศกับผลกระทบต่อสุขภาพ

4. การหาความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบต่อสุขภาพกับมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์

เมื่อทำการศึกษาครบตามขั้นตอนดังกล่าว ผลที่ได้คือต้นทุนในการกำจัดมลภาวะทางอากาศอันเนื่องมาจากการใช้ยานพาหนะ ซึ่งประกอบด้วยมูลค่าในการลดมลภาวะจากสารประเภทต่าง ๆ อันประกอบด้วย PM โอโซน คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ และสารพิษ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ต่อมา บริษัท ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเมนท์ จำกัด และ บริษัท ดาวฤกษ์ คอมมูนิเคชั่นส์ จำกัด ได้นำผลการศึกษาของ Mccubbin and Delucchi (1999) มาใช้สำหรับการประเมินต้นทุนค่ากำจัดมลภาวะทางอากาศของการใช้ยานพาหนะ โดยใช้ราคา ณ ปี พ.ศ. 2546

ทั้งนี้การที่มีโครงการรถไฟฟ้า จะส่งผลให้การใช้ยานพาหนะ เช่น รถยนต์ส่วนบุคคลและสาธารณะลดลง ทำให้การจราจรติดขัดลดลงรวมไปถึงการลดการปล่อยมลพิษจากการใช้ยานพาหนะอีกด้วย สำหรับการประเมินผลกระทบจากการลดมลภาวะทางอากาศ สำนักงานหนี้สาธารณะได้มีการกำหนดมูลค่ามาตรฐานสำหรับการคำนวณมูลค่าการประหยัดจากมลภาวะของระบบขนส่งมวลชน

ทางรางไว้ที่ 5 บาท/PCU-km ซึ่งมูลค่าการประหยัดจากมลภาวะของโครงการรายปีสามารถหาได้จากสมการที่ 5.28

$$EC_{saving} = (EC \times VKT_o) - (EC \times VKT_p) \tag{5.28}$$

$EC_{saving}$ = มูลค่าประหยัดจากมลภาวะ (บาท/วัน)

$EC$ = มูลค่าจากมลภาวะยานพาหนะตัวแทน = 5 บาท/PCU-กิโลเมตร

$VKT_o$ = ระยะทางรวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีไม่มีโครงการ $(o)$ (PCU-กิโลเมตร/วัน)

$VKT_p$ = ระยะทางรวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีที่มีโครงการ $(p)$ (PCU-กิโลเมตร/วัน)

มูลค่าที่ได้จากสมการที่ 5.28 เป็นมูลค่าการประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะรายวัน อย่างไรก็ตามเมื่อโครงการเกิดความล่าช้าย่อมหมายถึงการที่โครงการสูญเสียการสร้างประโยชน์ในการประหยัดค่าใช้จ่ายจากการใช้ยานพาหนะ ดังนั้นมูลค่าการสูญเสียค่าใช้จ่ายในการยานพาหนะจากความล่าช้าสามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่าง

$$EC_{Loss} = \left[ (EC \times VKT_o) - (EC \times VKT_p) \right] \times t_{dl} \tag{5.29}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$EC_{Loss}$ = มูลค่าการสูญเสียการประหยัดจากมลภาวะ (บาท)

$EC$ = มูลค่าจากมลภาวะยานพาหนะตัวแทน = 5 บาท/PCU-กิโลเมตร

$VKT_o$ = ระยะทางรวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีไม่มีโครงการ $(o)$ (PCU-กิโลเมตร/วัน)

$VKT_p$ = ระยะทางรวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีที่มีโครงการ $(p)$ (PCU-กิโลเมตร/วัน)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

เมื่อทำการรวบรวมของผลกระทบทางเศรษฐกิจความล่าช้าที่เกิดขึ้นจะสามารถประเมินมูลค่าผลกระทบได้จากสมการที่ 5.30 ในหน้าถัดไป

$$EI = VOC_{Loss} + VOT_{Loss} + AC + EC_{Loss} \tag{5.30}$$

$EI$ = มูลค่าผลกระทบทางเศรษฐกิจจากความล่าช้าในการก่อสร้าง (บาท)

$VOC_{Loss}$ = มูลค่าการประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะ (บาท)

$VOT_{Loss}$ = มูลค่าการประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะ (บาท)

$AC$ = มูลค่าอุบัติเหตุ (บาท)

$EC_{Loss}$ = มูลค่าการสูญเสียการประหยัดจากมลภาวะ (บาท)

ทั้งนี้จากการศึกษาเอกสารการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูของ (รฟม., 2560) พบว่าในส่วนของการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจในเอกสารดังกล่าวไม่ได้นำมูลค่าของอุบัติเหตุมาใช้ในการวิเคราะห์ด้วย ดังนั้นมูลค่าของการอุบัติเหตุ (AC) ในสมการที่ 5.30 สามารถแทนค่าได้ด้วย 0

## 5.3 การจำแนกรายการผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ที่เกิดขึ้นกับผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

ความล่าช้าในการก่อสร้างที่เกิดขึ้นนั้นส่งผลกระทบกับผู้ที่เกี่ยวข้องแตกต่างกันอันเนื่องมาจากความคาดหวังในการลงทุนและการใช้ประโยชน์จากโครงการที่แตกต่างกัน ดังนั้นรายการผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจึงจำเป็นต้องจำแนกผู้ที่เกี่ยวข้องด้วย

1) ผลกระทบกับฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทาน

เอกชนผู้รับสัมปทานที่เข้ามาลงทุนในโครงการย่อมมีความมุ่งหวังที่จะสร้างรายได้จากการใช้ประโยชน์ของโครงการ ซึ่งความล่าช้าที่เกิดขึ้นทำให้อาจทำให้ผู้รับสัมปทานสูญเสียระยะเวลาในการดำเนินโครงการซึ่งเป็นช่วงของการสร้างรายได้จากโครงการ นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ในการดำเนินโครงการอีกด้วย ซึ่งสามารถสรุปรายการผลกระทบที่เกิดขึ้นกับภาคเอกชนผู้รับสัมปทานได้ดังนี้

ก.ผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง

(1) ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านการบริหารจัดการโครงการ

(1.1) ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร ( $SD$ )

(1.2) ค่าโสหุ้ย หรือ Overhead Expense ( $DAOH$ )

(1.3) ค่าใช้จ่ายด้านการขยายระยะเวลาประกันที่ยึดออกไป ( $IED$ )

(1.4) ค่าใช้จ่ายจากการขยายเวลาว่าจ้างที่ปรึกษา ( $CF$ )

(2) ผลกระทบต่อการสูญเสียการใช้ประโยชน์

(2.1) ผลกระทบต่อรายได้จากค่าโดยสาร ( $SI$ )

(2.2) ผลกระทบต่อรายได้เชิงพาณิชย์ ( $DUV$ )

(3) ผลกระทบทางด้านการเงิน

(3.1) ดอกเบี้ยการผิดนัดชำระหนี้ ( $DI$ )

(3.2) ความเสียหายจากอัตราดอกเบี้ยที่เพิ่มขึ้น ( $INC$ )

จากรายการผลกระทบดังกล่าวสามารถสรุปความเสียหายของฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทานดังนี้

$$IMP_{conc.} = SD + DAOH + IED + CF + SI + DUV + DI + INC \tag{5.31}$$

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2) ผลกระทบจากความล่าช้าที่เกิดขึ้นกับรัฐเจ้าของโครงของการ

ภาครัฐเจ้าของโครงการเป็นหน่วยงานที่มีความรับผิดชอบในการดูแลและจัดการโครงการให้ดำเนินการไปได้อย่างเรียบร้อย เพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการสิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้ชีวิตประจำวันของประชาชน อย่างไรก็ตามในการรับผิดชอบโครงการ ภาครัฐจำเป็นต้องจัดเจ้าหน้าที่เพื่อไปรับผิดชอบโครงการ และยังมีการจ้างที่ปรึกษาโครงการในด้านต่าง ๆ อีกทั้งภาครัฐอาจมีการกู้เงินจากสถาบันจากต่างประเทศเช่น Asian Development Bank (ADB) เพื่อนำมาลงทุน

เมื่อโครงการเกิดความล่าช้าขึ้นย่อมส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายในส่วนของการควบคุมดูแลการดำเนินโครงการที่เพิ่มขึ้น และอาจส่งผลให้กับความสามารถในการชำระหนี้ของภาครัฐ อัน

เนื่องมาจากการที่ภาคเอกชนผู้รับสัมปทานจ่ายส่วนแบ่งรายได้ไม่ตรงเวลา ไม่เพียงเท่านั้นการก่อสร้างที่ยืดเยื้อยังทำให้ประชาชนไม่สามารถใช้ประโยชน์จากโครงการดังกล่าว ซึ่งขัดต่อวัตถุประสงค์ในการลงทุนของภาครัฐ ซึ่งสามารถสรุปรายการผลกระทบที่เกิดขึ้นกับภาคเอกชนผู้รับสัมปทานได้ดังนี้

ก.ผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง

(1) ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านการบริหารจัดการโครงการ

(1.1) ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร ( $SD$ )

(1.2) ค่าโสหุ้ย หรือ Overhead Expense ( $DAOH$ )

(1.3) ค่าใช้จ่ายด้านการขยายระยะเวลาประกันที่ยืดออกไป ( $IED$ )

(1.4) ค่าใช้จ่ายจากการขยายเวลาว่าจ้างที่ปรึกษา ( $CF$ )

(2) ผลกระทบทางด้านการเงิน

(2.1) ดอกเบี้ยการผิดนัดชำระหนี้ ( $DI$ )

(2.2) ความเสียหายจากอัตราดอกเบี้ยที่เพิ่มขึ้น ( $INC$ )

ข. ผลกระทบในเชิงเศรษฐศาสตร์

(1) ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่ประหยัดได้

(1.1) ค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยาน ( $VOC_{Loss}$ )

(1.2) มูลค่าเวลาของผู้ใช้รถ ( $VOT_{Loss}$ )

(1.3) ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุ ( $AC$ )

(2) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

(2.1) ต้นทุนค่ากำจัดมลภาวะทางอากาศ จากการใช้ยานพาหนะ ( $EC_{Loss}$ )

จากรายการผลกระทบดังกล่าวสามารถสรุปความเสียหายของฝ่ายภาครัฐเจ้าของโครงการดังนี้

$$IMP_{govt.} = SD + DAOH + IED + DI + INC + CF + VOC_{Loss} + VOT_{Loss} + AC + EC_{Loss} \quad (5.32)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3) ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับภาคประชาชน

โครงการโครงสร้างพื้นฐานนั้นเป็นโครงการที่ส่งผลโดยตรงต่อความเป็นอยู่ของประชาชน ตั้งแต่ช่วงระหว่างการก่อสร้างไปจนถึงหลังการก่อสร้าง สำหรับโครงการขนส่งสาธารณะ ประเภทรถไฟฟ้า เป็นโครงการที่จะช่วยปัญหาการจราจรติดขัด อาจช่วยประหยัดเวลาในการเดินทาง รวมไปถึงการลดมลพิษอีกด้วย

ผลจากการความล่าช้าในการก่อสร้างทำให้ประชาชนไม่สามารถประโยชน์จากโครงการ ทำให้ประชาชนสูญเสียทรัพย์สินโดยไม่จำเป็น ดังนั้นสามารถสรุปรายการผลกระทบที่เกิดขึ้นกับประชาชนได้ดังนี้

ก. ผลกระทบในเชิงเศรษฐศาสตร์

(1) ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่ประหยัดได้

(1.1) ค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยาน ($VOC_{Loss}$)

(1.2) มูลค่าเวลาของผู้ใช้รถ ($VOT_{Loss}$)

(1.3) ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุ ( $AC$ )

(2) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

(2.1) ต้นทุนค่ากำจัดมลภาวะทางอากาศ จากการใช้ยานพาหนะ ( $EC_{Loss}$ )

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรายการผลกระทบดังกล่าวสามารถสรุปความเสียหายของภาคประชาชนได้ดังนี้

$$IMP_{people} = VOC_{Loss} + VOT_{Loss} + AC + EC_{Loss} \qquad (5.33)$$

4.) ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับภาครัฐร่วมกับประชาชน

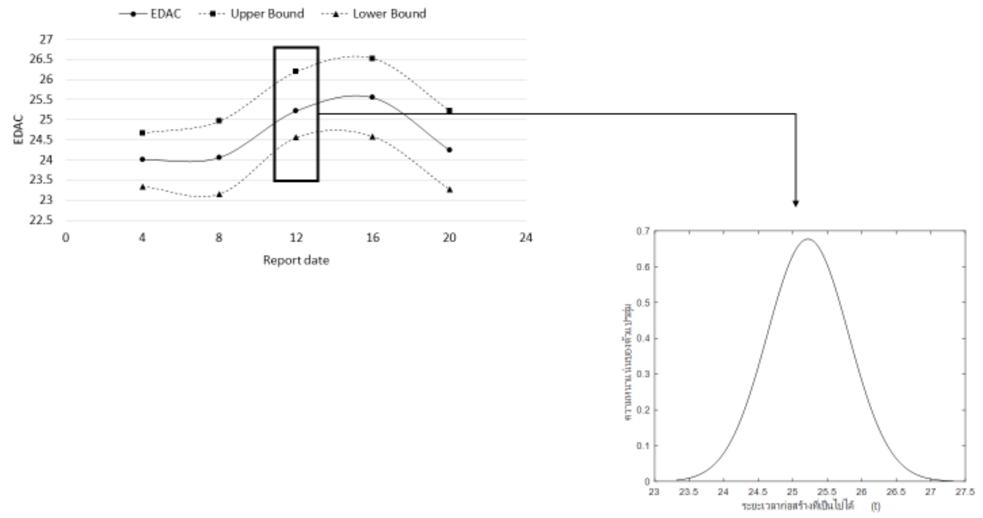
เมื่อภาครัฐเป็นตัวแทนของประชาชนด้วยการใช้ภาษีของประชาชนในการพัฒนาประเทศ รวมไปถึงการที่มีอำนาจทำหน้าที่ในการร่วมบริหารจัดการโครงการโครงสร้างพื้นฐานโดยตรง ดังนั้นในการประเมินผลกระทบจากความล่าช้า ผู้วิจัยมีความเห็นว่าผู้ประเมินสามารถทำการประเมินมูลค่าผลกระทบของฝ่ายภาครัฐและประชาชนร่วมกันได้ เมื่อพิจารณาสมการ 5.32 และสมการ 5.33 และทำการปรับปรุงให้เหมาะสมจึงได้เป็นสมการที่ 5.34

$$IMP_{govt+ppl} = SD + DAOH + IED + DI + INC + CF + VOC_{Loss} + VOT_{Loss} + AC + EC_{Loss} \qquad (5.34)$$

### 5.4 การประยุกต์ใช้ตัวแบบผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการประเมินมูลค่าความเสียหายจากความล่าช้าที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคตของโครงการ

สมการต่าง ๆ ที่ผู้วิจัยได้นำเสนอไปมีจุดประสงค์เพื่อใช้สำหรับการประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นจากความล่าช้าในการก่อสร้างต่อผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ซึ่งผู้ใช้งานแบบจำลองสามารถนำไปใช้ประเมินมูลค่าความเสียหายตามรายการที่ระบุไว้ได้ทันที อย่างไรก็ดีผู้ใช้งานยังสามารถนำแบบจำลองดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับเครื่องมืออื่น ๆ เพื่อใช้สำหรับคาดการณ์มูลค่าความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตในอนาคตได้อีกด้วย โดยในงานวิจัยวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยจะประยุกต์แบบจำลองดังกล่าวเข้ากับเครื่องมือที่มีชื่อว่า Kalman Filter Forecasting Method ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ได้อธิบายไว้โดยละเอียดในบทที่ 4

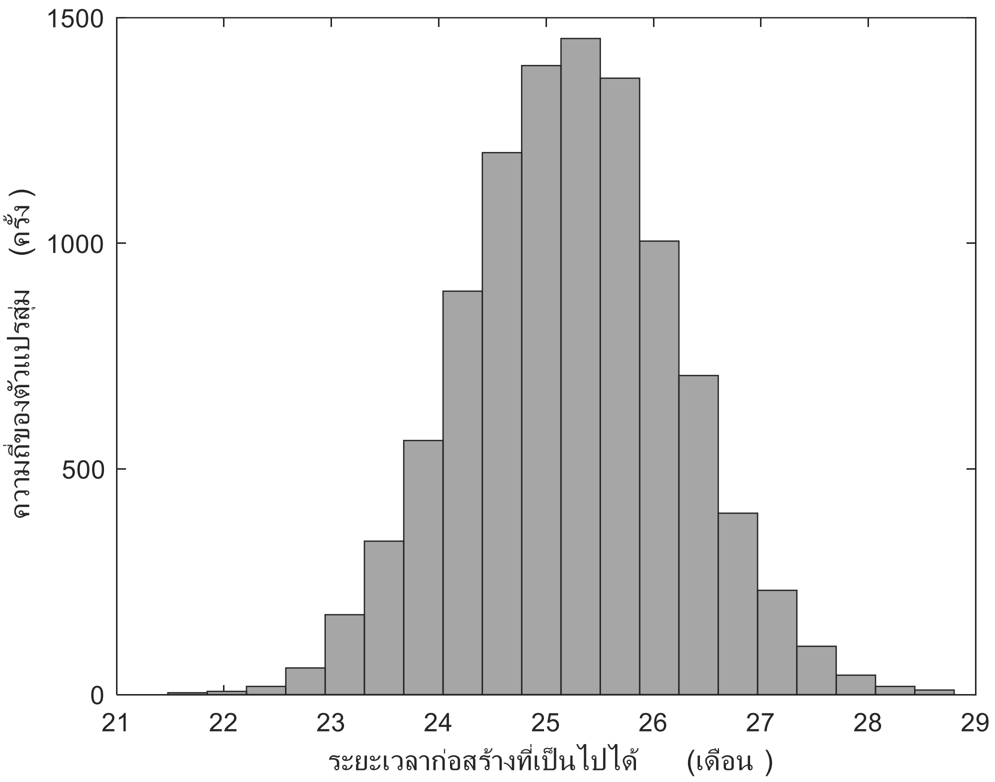
Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) เป็นเครื่องมือสำหรับการคาดการณ์วันที่แล้วเสร็จของโครงการ อีกทั้งยังมีความสามารถในการคาดการณ์ความไม่แน่นอนของระยะเวลาอีกเช่นกัน ผลจากการใช้งาน KFFM จะทำให้ผู้ใช้งานทราบถึงระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้โดยใช้ค่าความคืบหน้าของโครงการสำหรับการพยากรณ์ โดยจะอยู่ในรูป $X_k \sim N(EDAC_k, \sigma_k^2)$ ซึ่งสามารถดูได้ในภาพที่ 5.6




*ภาพที่ 5.6 ผลการคาดการณ์ระยะเวลาที่ได้จาก KFFM*

สำหรับการคาดการณ์มูลค่าของผลกระทบล่วงหน้า สามารถแทนค่าพารามีเตอร์ $t_{dl}$ ได้โดยใช้ระยะเวลาที่ได้ตัวแปรสุ่ม $X_k$ ที่มากกว่าระยะเวลาก่อสร้างโดยตามแผน ($PD$) ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังตัวอย่างต่อไปนี้

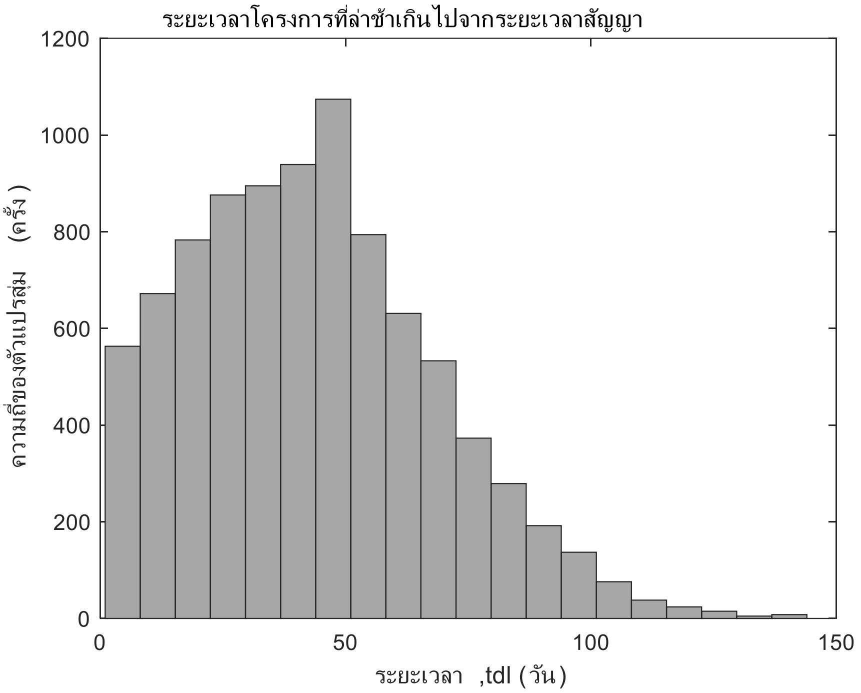
สมมติให้โครงการก่อสร้างโครงการหนึ่งมีระยะเวลาก่อสร้างตามแผน ($PD$) เท่ากับ 24 เดือน และความแปรปรวนของระยะเวลาก่อสร้าง $\sigma_T^2$ เท่ากับ 1 เดือน และผลที่ได้จากการใช้งาน KFFM ครั้งที่ 3 มีระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้เฉลี่ยจากการคาดการณ์ $EDAC_k$ = 25.22 เดือน $\sigma_k^2$ =1 ดังนั้นตัวแปรสุ่มของระยะเวลาที่โครงการจะแล้วเสร็จโดยคาดการณ์จากความคืบหน้า $k$ ที่พยากรณ์โดย KFFM ครั้งที่ 3 มีค่าเท่ากับ $X_k \sim N(25.22,1)$ ดังแผนภูมิที่ 5.1




*ภาพที่ 5.7 แผนภูมิแสดงระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ ($X_{k=3}$)*

อย่างไรก็ตามระยะเวลาก่อสร้าง ($X_{k=3}$) ในภาพ 5.6 เป็นระยะเวลาที่คาดการณ์ว่าจะใช้จนโครงการแล้วเสร็จ ซึ่งยังไม่สามารถนำมาใช้ในการประเมินผลกระทบของโครงการได้ ดังนั้นเพื่อให้ได้ระยะเวลา $t_{dl}$ ที่เป็นปริมาณของเวลาที่ไม่เป็นไปตามแผน ผู้วิจัยจึงทำการหาผลต่างระหว่าง

ระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้และระยะเวลาก่อสร้างตามแผนและทำการแปลงให้เป็นอยู่ในรูปของจำนวนวัน (ภาพที่ 5.8)




*ภาพที่ 5.8 แผนภูมิแสดงระยะเวลาโครงการที่ล่าช้าเกินไปจากระยะเวลาสัญญา*

จากภาพที่ 5.8 จะเห็นการกระจายตัวของระยะเวลาโครงการที่ไม่เป็นไปตามสัญญา ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการใช้เวลามากเกินไปจากระยะเวลาก่อสร้างที่ระบุไว้ในสัญญา จนก่อให้เกิดผลกระทบเชิงลบ ต่อไปนี้จะเป็นตัวอย่างผลกระทบจากความล่าช้าของโครง โดยใช้มูลค่าการสูญเสียรายได้จากการเช่าพื้นที่ของโครงการหนึ่ง ซึ่งคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วย KFFM ว่าการก่อสร้างจะล่าช้า 30 วันจากระยะเวลาสัญญา ทำให้สามารถคำนวณมูลค่าผลกระทบได้ดังนี้

มูลค่าการสูญเสียรายได้จากการให้เช่าพื้นที่ภายในสถานี = $LAR = AR \times LP \times t_{dl}$

$AR$ = 60 ตารางเมตร

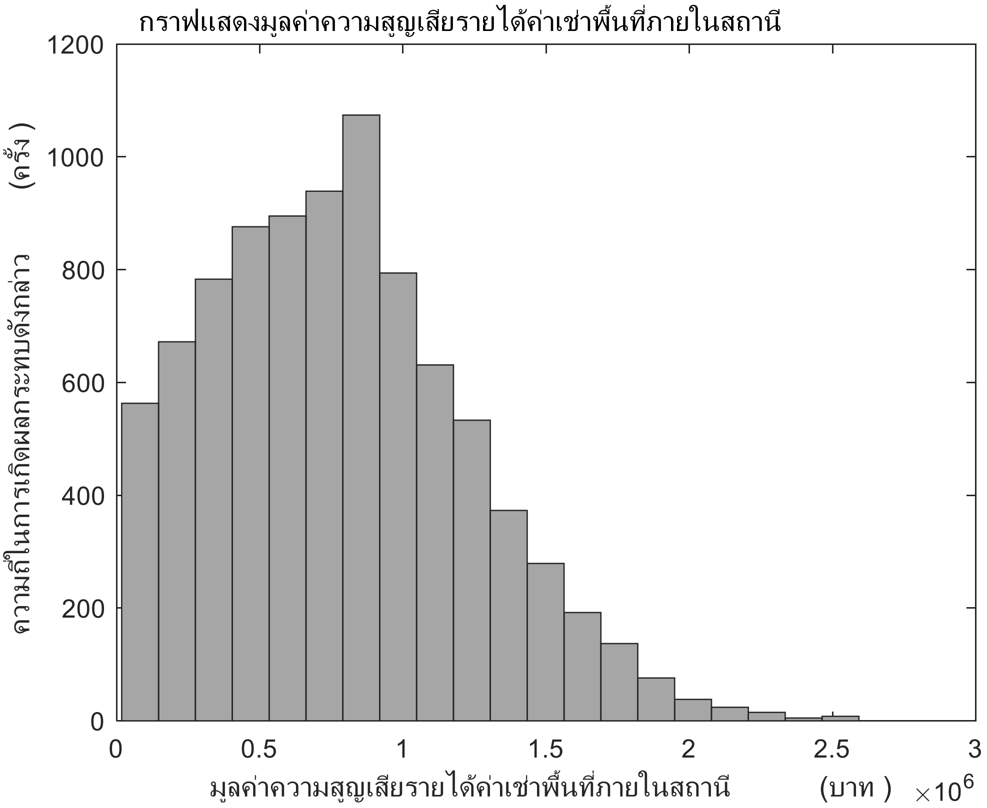
$LP$ = 300 บาท/วัน-ตร.ม.

$t_{dl}$ = 30 วัน

$LAR = 60 \times 300 \times 30 = 540,000$ บาท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อคำนวณมูลค่าการสูญเสียรายได้จากการเช่าพื้นที่ของโครงการที่เป็นไปได้จากระยะเวลาที่เกินทั้งหมดดังภาพที่ 5.9 และหาค่าเฉลี่ยจากปริมาณทั้งหมดในแผนภูมิดังกล่าวนั้นจะทำให้ทราบว่าในอนาคตโครงการดังกล่าวอาจมีมูลค่าการสูญเสียรายได้จากการเช่าพื้นที่ของโครงการ 701,170 บาท อย่างไรก็ตามมูลค่าความเสียหายดังกล่าวเป็นเพียงตัวอย่างเท่านั้น หากรวมมูลค่าเสียหายหลายรายการเข้าด้วยกันคาดว่าจะมีมูลค่าที่สูงขึ้นอีกเป็นจำนวนมาก




CHULALONGKORN UNIVERSITY

*ภาพที่ 5.9 แผนภูมิแสดงมูลค่าความสูญเสียรายได้ค่าเช่าพื้นที่ภายในสถานี*

**5.5 สรุป**

ความล่าช้าในการก่อสร้างที่เกิดขึ้นคาดว่าจะสามารถส่งผลกระทบต่อภาคเอกชนผู้รับสัมปทาน ภาครัฐเจ้าของโครงการ และประชาชนได้ในรูปแบบของผลกระทบที่แตกต่างกัน ซึ่งในบทนี้จะเป็นการรวบรวมรายการผลกระทบที่เกิดขึ้นกับฝ่ายต่าง ๆ รวมไปถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการประมาณการมูลค่าของผลกระทบที่เกิดขึ้นให้อยู่รูปมูลค่าทางการเงินและมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์

ผลจากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องทำให้สามารถกำหนดรายการความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับแต่ละฝ่ายรวมไปถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการประเมินมูลค่าความเสียหายได้ดังตารางที่ 5.1 ถึงตารางที่ 5.3

ผู้วิจัยคาดว่าแบบจำลองสำหรับการประเมินผลกระทบจากความล่าช้าในการก่อสร้างต่อผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการจะช่วยให้ผู้ที่ทำการประเมินสามารถคาดการณ์มูลค่าของผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต ด้วยการนำแบบจำลองต่าง ๆ ในบทที่ 5 ไปประยุกต์เข้ากับผลจากการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ด้วยวิธี Kalman Filter Forecasting Method โดยผลการคาดการณ์มูลค่าของผลกระทบจะช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการสามารถทราบถึงมูลค่าความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ที่ซึ่งมีค่าไม่คงที่ (Dynamic) และเปลี่ยนแปลงไปตามความเสี่ยงที่โครงการจะเกิดความล่าช้า เพื่อให้ผู้รับสัมปทานและภาครัฐนำไปใช้สำหรับการเตรียมตัวรับมือกับความเสี่ยงที่โครงการจะเกิดความล่าช้าในการก่อสร้างหรือใช้การวางกลยุทธ์ในการบริหารสัญญาได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเด็นที่น่าสนใจสำหรับการประเมินมูลค่าผลกระทบล่วงหน้าคือความครบถ้วนของข้อมูลที่จะนำมาใช้ในแบบจำลอง เนื่องจากแบบจำลองดังกล่าวมีตัวแปรในสมการที่แตกต่างกันจำนวนมากทำให้ผู้ประเมินจำเป็นต้องเก็บข้อมูลในปริมาณที่มากเพียงพอสำหรับการนำมาใช้แทนค่าตัวแปรในแบบจำลอง ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการค้นคว้าข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเป็นไปได้ในการลงทุนของโครงการเพื่อหาวิธีสำหรับการประมาณมูลค่าของตัวแปรบางตัวที่ไม่สามารถหาข้อมูลเพื่อมาใช้สำหรับการประเมินมูลค่าความเสียหายได้

ถึงแม้ว่ารายผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากความล่าช้าในการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานที่เกิดขึ้นจริงอาจมีมากกว่าที่ผู้วิจัยได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อย่างไรก็ตามรายการผลกระทบที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้นก็เกิดจากการรวบรวมจากแหล่งที่มาต่าง ๆ และนำเสนอในเป็นจำนวนที่คาดว่าเพียงพอและเหมาะสมต่อการนำไปใช้อ้างอิงในกรณีศึกษา

ตารางที่ 5.2 สรุปรายการผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง

| ผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง | | | |
|---|---|---|---|
| **รายการผลกระทบ** | **สมการที่เหมาะสม** | **ที่มาของแนวคิด** | **ผู้เสนอสมการ** |
| **ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านการบริหารจัดการโครงการ** | | | |
| **1.ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร** | | | |
| บุคลากรโครงการ | $SD = SL \times PS \times t_{dl}$ | มณฑิณี ยิ่งเจริญ (2553) | มณฑิณี ยิ่งเจริญ (2553) |
| **2. ค่าโสหุ้ย** | $OH = P_{OH} \times DC$ | นพดล จอกแก้ว (2560) | ผู้วิจัย |
| | $DAOH = \frac{OH}{PD} \times t_{dl}$ | | |
| 2.1 อัตราค่าโสหุ้ย (หากไม่มีข้อมูลเพียงพอ) | ใช้อัตราส่วนจาก Factor F | กรมบัญชีกลาง (2563) | ผู้วิจัย |
| **3.ค่าใช้จ่ายด้านการขยายระยะเวลาประกันที่ยึดออกไป** | $IED = IE \times t_{dl}$ | สขร. (2560) | ผู้วิจัย |
| **4.ค่าใช้จ่ายจากการเรียกร้องของที่ปรึกษาโครงการ** | $CF = \frac{(PMC + CFC + ICE)}{PD} \times t_{dl}$ | กระทรวงการคลัง (2556) | ผู้วิจัย |

ตารางที่ 5.2 สรุปรายการผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง (ต่อ)

| **ผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง** | | | |
|---|---|---|---|
| **รายการผลกระทบ** | **สมการที่เหมาะสม** | **ที่มาของแนวคิด** | **ผู้เสนอแบบจำลอง** |
| **ผลกระทบต่อการสูญเสียการใช้ประโยชน์** | | | |
| **1.ผลกระทบต่อรายได้จากค่าโดยสาร** | $SI = DPS \times ATC \times t_{dl}$ | BTS (2560) | ผู้วิจัย |
| **2.ผลกระทบต่อรายได้เชิงพาณิชย์** | $DUV = e \times SI$ | BTS (2560) | ผู้วิจัย |
| | $DUV = LAR + CAR + PAR$ | มณฑิณี ยิ่งเจริญ (2553) | มณฑิณี ยิ่งเจริญ (2553) |
| 2.1 รายได้จากค่าเช่าพื้นที่ภายในสถานี | $LAR = AR \times LP \times t_{dl}$ | | |
| 2.2 รายได้จากการให้เช่าพื้นที่ป้ายสำหรับโฆษณา | $CAR = CAB \times PR \times t_{dl}$ | | |
| 2.3 รายได้จากค่าเช่าที่จอดรถ | $PAR = PL \times CP \times T \times t_{dl}$ | | |
| **ผลกระทบทางด้านการเงิน** | | | |
| **1.ดอกเบี้ยการผิดนัดชำระหนี้** | $DI = PP \times (IP - IR) \times \frac{t_{dl}}{365}$ | ธนาคารแห่งประเทศไทย (2563) | ธนาคารแห่งประเทศไทย (2563) |
| **2.มูลค่าดอกเบี้ยเงินกู้ที่ถูกปรับ** | $INC = RP \times \frac{(IR_i - IR_0)}{365} \times t_{dl}$ | ธนาคารกรุงไทย (2563) | ผู้วิจัย |

ตารางที่ 5.3 สรุปรายการผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจสังคมจากความล่าช้าในการก่อสร้าง

| **ผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจสังคมจากความล่าช้าในการก่อสร้าง** | | | |
|---|---|---|---|
| **รายการผลกระทบ** | **สมการที่เหมาะสม** | **ที่มาของแนวคิด** | **ผู้เสนอแบบจำลอง** |
| **ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่ประหยัดได้** | | | |
| **1.ค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยาน** | $VOC_{Loss} = \left[(VOC \times VKT_o) - (VOC \times VKT_p)\right] \times t_{dl}$ | Sinha, Kumares and Labi (2011) | ผู้วิจัย |
| **2.มูลค่าเวลาของผู้ใช้รถ** | $VOT_{Loss} = \left[(VOT \times VHT_o) - (VOT \times VHT_p)\right] \times t_{dl}$ | รฟม. (2560) | ผู้วิจัย |
| **3.ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุ (ถ้ามี)** | วิธีต้นทุนมนุษย์ (Human Capital approach) | กรมทางหลวง (2560) | กรมทางหลวง (2560) |
| **ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม** | | | |
| **1.ต้นทุนค่ากำจัดมลภาวะทางอากาศจากการใช้ยานพาหนะ** | $EC_{Loss} = \left[(EC \times VKT_o) - (EC \times VKT_p)\right] \times t_{dl}$ | Mccubbin and Delucchi (1999) | ผู้วิจัย |

ตารางที่ 5.4 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณผลกระทบแต่ละผู้มีส่วนได้เสีย (เสนอตัวแบบโดยผู้วิจัย)

| **ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณผลกระทบแต่ละฝ่าย** | |
|---|---|
| **ฝ่ายที่ได้ผลกระทบ** | **ตัวแบบทางคณิตศาสตร์** |
| **เอกชนผู้รับสัมปทาน** | $IMP_{conc.} = SD + DAOH + IED + CF + SI + DUV + DI + INC$ |
| **ภาครัฐเจ้าของโครงการ** | $IMP_{govt.} = SD + DAOH + IED + DI + INC + CF + VOC_{Loss} + VOT_{Loss} + AC + EC_{Loss}$ |
| **ประชาชน** | $IMP_{people} = VOC_{Loss} + VOT_{Loss} + AC + EC_{Loss}$ |
| **เพิ่มเติม กรณีที่ยึดแนวคิดว่าภาครัฐเป็นตัวแทนของประชาชนจึงรับความเสียหายร่วมกัน** | $IMP_{govt+ppl} = SD + DAOH + IED + DI + INC + CF + VOC_{Loss} + VOT_{Loss} + AC + EC_{Loss}$ |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

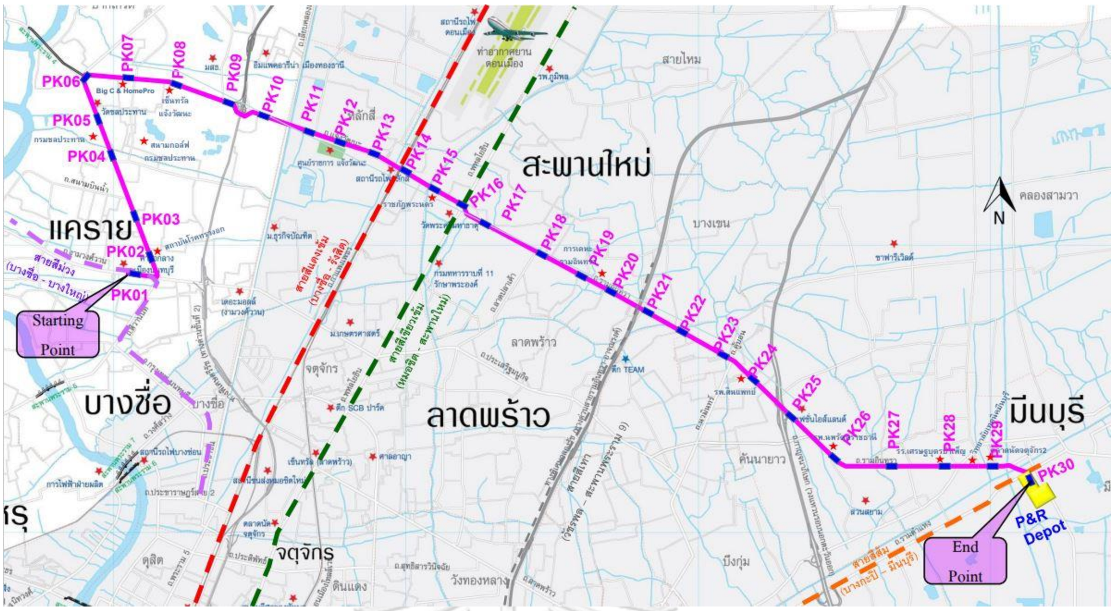
# บทที่ 6
# การประยุกต์ใช้ Kalman Filter Forecasting Method กับโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู

ในส่วนของบทที่ 6 จะเป็นการนำเครื่องมือ Kalman Filter Forecasting Method และตัวแบบผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์มาประยุกต์กับโครงการกรณีศึกษา เพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงที่โครงการจะไม่สามารถก่อสร้างได้เสร็จทันเวลาโดยใช้ความคืบหน้าของโครงการและเพื่อศึกษามูลค่าผลกระทบที่แปรผันไปตามระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้ โดยผู้วิจัยได้เลือกโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูมาเป็นกรณีศึกษาเนื่องจากโครงการเคยมีข่าวว่ามีความเสี่ยงที่จะเกิดความล่าช้าในการก่อสร้างขึ้น อีกทั้งโครงการดังกล่าวเป็นโครงการขนส่งมวลชนประเภทรถไฟฟ้า ซึ่งประเทศไทยมีโครงการหลายโครงการที่กำลังอยู่ในช่วงของการศึกษาและพัฒนาโครงการ และหลาย ๆ โครงการกำลังอยู่ในช่วงการก่อสร้าง ดังนั้นการเลือกโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูมีความเหมาะสมและเป็นตัวอย่างของโครงการที่เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการรถไฟฟ้าสายอื่น ๆ ที่ยังไม่ก่อสร้างและกำลังก่อสร้างอยู่

## 6.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู

คณะรัฐมนตรีได้มีมติอนุมัติเมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2559 ให้การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทยดำเนินโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู ช่วงแคราย-มีนบุรี ในรูปแบบ PPP Net Cost โดยภาครัฐลงทุนค่าจัดกรรมสิทธิ์ที่ดิน และเอกชนลงทุนค่างานโยธา ระบบรถไฟฟ้าและขบวนรถไฟฟ้า รวมทั้งบริการการเดินรถไฟฟ้าและซ่อมบำรุงรักษา โดยให้เอกชนร่วมลงทุนเป็นเวลา 33 ปี 3 เดือนแบ่งออกเป็น (1) ระยะเวลาก่อสร้าง 3 ปี 3 เดือน ซึ่งเป็นการออกแบบ ก่อสร้างงานโยธาและงานระบบรถไฟฟ้ารางเดี่ยว (Monorail) เริ่มจากวันที่ 28 มิถุนายน 2561 (Notice to Proceed) และ (2) ระยะเวลาเดินรถ 30 ปี เป็นการให้บริการเดินรถและบำรุงรักษา โดยนับจากวันที่ได้รับหนังสือรับรองการเดินรถไฟฟ้า (Commissioning Certificate) จาก รฟม. ซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบโครงการ

รถไฟฟ้าสายสีชมพูมีลักษณะเป็นรถไฟรางเดี่ยว (Monorail) ระยะทางรวมทั้งสิ้น 34.5 กิโลเมตร สถานีบริการ 30 สถานี ศูนย์ซ่อมบำรุง 1 แห่งและอาคารจอดและจร 1 แห่ง เริ่มจากถนนรัตนาธิเบศร์บริเวณด้านหน้าศูนย์ราชการนนทบุรีและสิ้นสุดที่แยกร่มเกล้าที่สถานีมีนบุรี (ภาพที่ 6.1) โดยผู้ที่ได้รับสัมปทานในการก่อสร้างและดำเนินโครงการคือบริษัท นอร์ทเทิร์น บางกอกโมโนเรล จำกัด (NBM)




*ภาพที่ 6.1 แนวเส้นทางรถไฟฟ้า สายสีชมพู (ที่มา: BTS, 2560)*

NBM เป็นบริษัทประเภทกิจกรรมร่วมค้า (Joint Venture) โดยเกิดจากการรวมตัวกันของ 3 บริษัทประกอบด้วย (1) บมจ. บีทีเอส กรุ๊ป โฮลดิ้งส์ (BTS) (2) บมจ. ซิโน-ไทย เอ็นจีเนียริ่งฯ (STECON) (3) บมจ. ผลิตไฟฟ้าราชบุรีโฮลดิ้ง (RATCH) ซึ่งจะมีการแบ่งหน้าที่กันดังนี้

1. BTS เป็นผู้นำการประมูล จัดหาและติดตั้งระบบรถไฟฟ้า และดำเนินการให้บริการโครงการ

2. STECON รับผิดชอบในส่วนของการก่อสร้างงานโยธาทั้งหมดเพียงผู้เดียว

3. RATCH รับผิดชอบในส่วนงานติดตั้งระบบไฟฟ้าและระบบเครื่องกล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## 6.2 การใช้ Kalman Filter Forecasting Method เพื่อคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู

โครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานประเภทรถไฟฟ้าสายสีชมพูเป็นโครงการที่มีมูลค่าการลงทุนที่สูง ใช้มีเวลาในการก่อสร้างโครงการถึง 3 ปี 3 เดือน ด้วยกรอบระยะเวลาก่อสร้างที่ยาวนานทำให้โครงการต้องเจอกับความเสี่ยงต่อเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่อาจทำให้โครงการไม่สามารถก่อสร้างให้เสร็จได้ทันตามกรอบระยะเวลาสัญญา

ผู้วิจัยเชื่อว่าการใช้ Kalman Filter Forecasting Method ในโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูจะช่วยให้ผู้บริหารโครงการรวมถึงฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการจะสามารถประเมินระยะเวลา

ก่อสร้างของโครงการที่เป็นไปได้จากผลการรายงานความคืบหน้าของโครงการ ซึ่งจะมีประโยชน์ในการบริหารสัญญาได้อีกด้วย

รฟม. ได้ให้ความอนุเคราะห์โดยการมอบเอกสารการรายงานความก้าวหน้าประจำเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 ของโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการใช้งาน KFFM โดยจากการศึกษารายงานฉบับดังกล่าว ในเบื้องต้นพบว่าที่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 นับเป็นเดือนที่ 18 ของการทำงานจากกรอบระยะเวลา 39 เดือนตามสัญญา ทั้งนี้ในรายงาน S-curve พบว่าความคืบหน้าโครงการนั้นไม่เป็นไปตามแผนงาน (ภาพที่ 6.2) ซึ่งมีความเสี่ยงที่โครงการจะไม่สามารถก่อสร้างได้เสร็จได้ภายในระยะเวลาสัญญา ดังนั้นผู้วิจัยจะใช้ KFFM เพื่อคาดการณ์ระยะเวลาที่เป็นไปได้เพื่อช่วยให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องทราบถึงระดับความเสี่ยงที่โครงการจะไม่เสร็จทันเวลาเพื่อที่จะได้มีการวางแผนการบริหารจัดการได้ล่วงหน้า

เพื่อที่จะใช้งาน KFFM จะต้องมีการเก็บข้อมูลเบื้องต้นก่อน ทั้งนี้รายละเอียดของข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้รวมไปขั้นตอนการคำนวณ ผู้อ่านสามารถศึกษาได้จากบทที่ 4

ผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์ ดร.ประสิทธิพนธ์ โสวาปี ตำแหน่ง ผู้จัดการโครงการ ด้านงานโยธา โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู ผลจากการสัมภาษณ์ทำให้ได้ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการใช้งาน KFFM รวมไปถึงข้อมูลอื่น ๆ ที่ทำให้เข้าใจถึงพื้นฐานการทำงานและสาเหตุของความล่าช้าในการก่อสร้างอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยยิ่ง

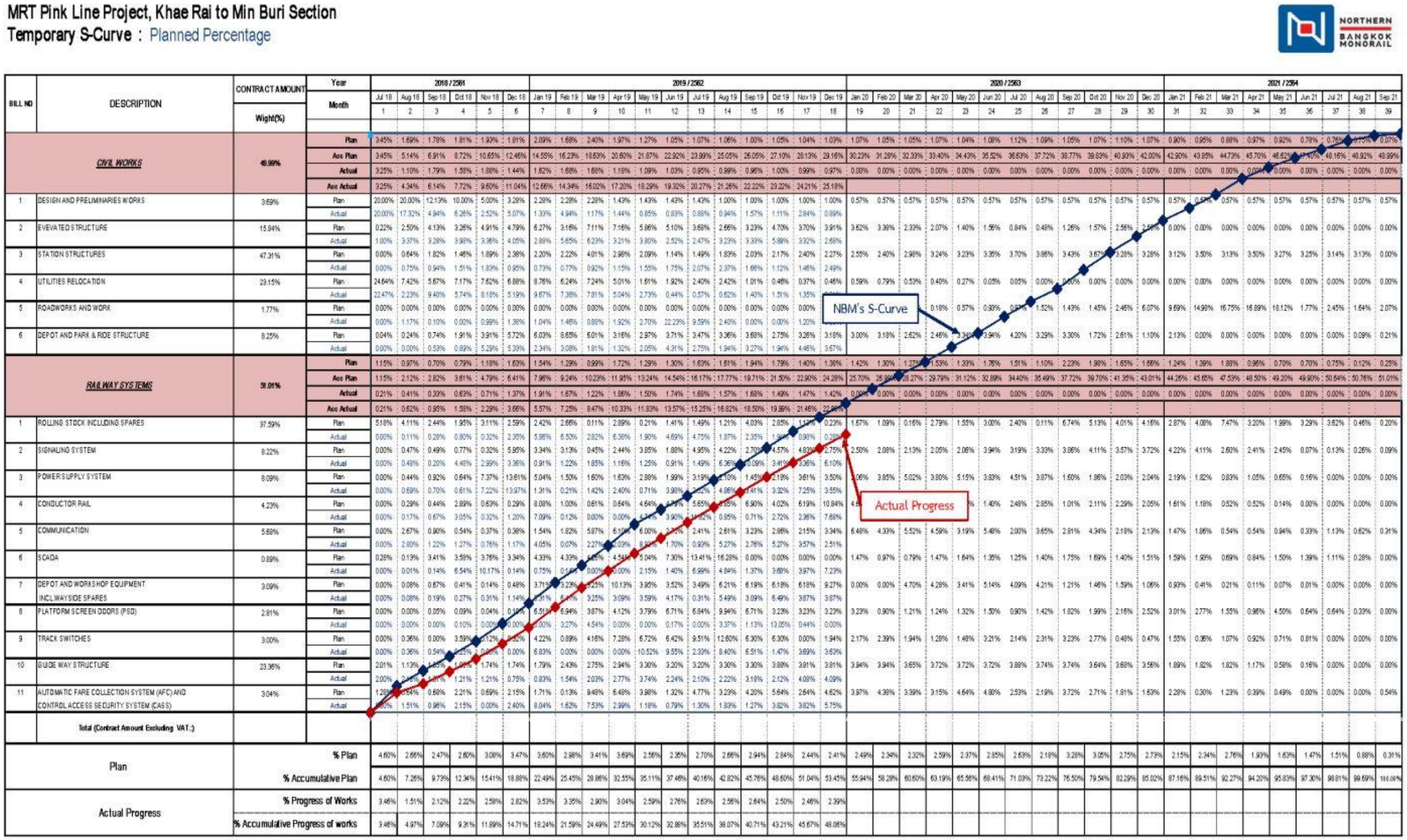
ประสิทธิพนธ์ โสวาปี (2564) ระบุว่าโครงการรถไฟฟ้า (Monorail) เป็นโครงการขนาดใหญ่ มีการก่อสร้างโครงสร้างอยู่บริเวณกึ่งกลางถนนและมีทางขึ้น-ลงบริเวณทางเท้า ทำให้การก่อสร้างมีความยากลำบาก เนื่องจากจำเป็นต้องมีการรื้อย้ายสาธารณูปโภคใต้ดิน บนดิน และกลางอากาศ เพื่อการก่อสร้างเสาเข็ม ฐานราก เสารับโครงสร้างสถานีและทางวิ่งรถไฟฟ้าให้ก่อสร้างตามหลักวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมตามข้อกำหนด

ในส่วนของปัญหาการรื้อย้ายสาธารณูปโภคใต้ดิน บนดิน และอากาศอาทิเช่นการรื้อย้ายสาธารณูปโภค ระบบระบายน้ำ สายสื่อสาร ไฟฟ้า ประปา (รวมงานขยายขนาดท่อให้ใหญ่ขึ้นเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการส่งน้ำตามแผนของการประปา) duct bank และโครงสร้างใต้ดินที่ไม่ปรากฏในแบบ As-Built อีกทั้งป้าย ซุ้มโฆษณา และสะพานลอย เป็นต้น โครงการยังต้องประสานกับอีกหลาย ๆ หน่วยงานของทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งโครงการยังต้องประสบกับปัญหาการเข้าทำงานก่อสร้างพื้นที่บริเวณชุมชนคลองเปรมประชากร รวมไปถึงการเวนคืนที่ดินทั้งจากภาครัฐและเอกชน

อันก่อให้เกิดปัญหาการหยุกชะงักของโครงการ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการที่จะก่อสร้างโครงการนี้ให้เสร็จทันเวลาเป็นไปได้ยาก

หากระหว่างก่อสร้างนั้นราบรื่นและไม่มีปัญหาใด ๆ โครงการนี้อาจก่อสร้างสำเร็จได้เร็วที่สุดโดยใช้เวลาเพียง 3 ปี เนื่องจากแผนการก่อสร้างและเทคนิคที่ใช้ในก่อสร้างถือเป็นเทคนิคที่ให้ผลิตภาพ (Productivity) ที่สูงและก่อสร้างอาจจะล่าช้ามากที่สุด 8 เดือน เนื่องจากปัญหาต่าง ๆ เช่น ผังการวางระบบโครงสร้างสาธารณูปโภคไม่ชัดเจน การเวนคืนที่ดินไม่เป็นไปตามแผน รวมไปถึงปัญหาที่สำคัญที่ได้กล่าวไปคือการสื่อสารระหว่างองค์กรภาครัฐที่ทำได้ไม่ดีพอ และเมื่อโครงการดำเนินการก่อสร้างไปได้ระยะหนึ่งก็พบว่าระบบสาธารณูปโภคที่ไม่มีในแบบ As-Built ต้องได้รับการรื้อย้ายก่อนจึงจะเริ่มงานก่อสร้างทั้งทางวิ่งและสถานีได้ อีกทั้งบริเวณทางขึ้นลงสถานีที่ได้ออกแบบให้อยู่บนทางเท้าก็จะต้องมีการรื้อย้ายและเปลี่ยนเส้นทางระบบสาธารณูปโภค ท่อน้ำประปาปา และ drainage ตลอดเส้นทาง ทำให้โครงการก่อสร้างได้ไม่ทันตามแผนที่วางไว้ (ประสิทธิพนธ์ โสวาปี, 2564)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




*ภาพที่ 6.2 แผนแสดงความก้าวหน้า S-Curve โครงการรถไฟฟ้า สายสีชมพู (ที่มา:ที่ปรึกษา PCPK, 2562)*

เมื่อนำข้อมูลที่ได้รับใช้ร่วมกับวิธีการ Program Evaluation Review Technique (PERT) จะทำให้มทราบถึงระยะเวลาก่อสร้างโดยเฉลี่ย ($\mu_t$) และทราบถึงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาก่อสร้าง ($\sigma_t$) ได้เท่ากับ

$$\mu_t = \frac{a+4m+b}{6}$$

$$\mu_t = \frac{36+4\times(39)+47}{6} = 39.83 \text{ เดือน}$$

$$\sigma_t = \frac{b-a}{6}$$

$$\sigma_t = \frac{47-36}{6} = 1.83 \text{ เดือน}$$

โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูมีการรายงานความคืบหน้าโดยวิธีการนับเป็นปริมาณงานที่ทำได้ ตัวอย่างเช่น นับเสา 1 ต้นจากปริมาณเสาทั้งหมด 100 ต้น ดังนั้นเมื่อทำการเก็บข้อมูลในลักษณะนี้จะทำให้ข้อมูลไม่มีความผิดพลาดในการวัดเกิดขึ้น ดังนั้นในกรณีนี้จะทำให้ค่า Vector of Random Measurement ($v_k$) และ Measurement error covariance matrix ($R$) มีค่าเป็น 0

จากที่กล่าวมาสามารถสรุปตัวแปรต่างๆที่ใช้สำหรับรถไฟฟ้าสายสีชมพูได้ดังตารางที่ 6.1 และมีผลการคำนวณดังตารางที่ 6.2 และภาพรวมของระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้ในภาพที่ 6.3

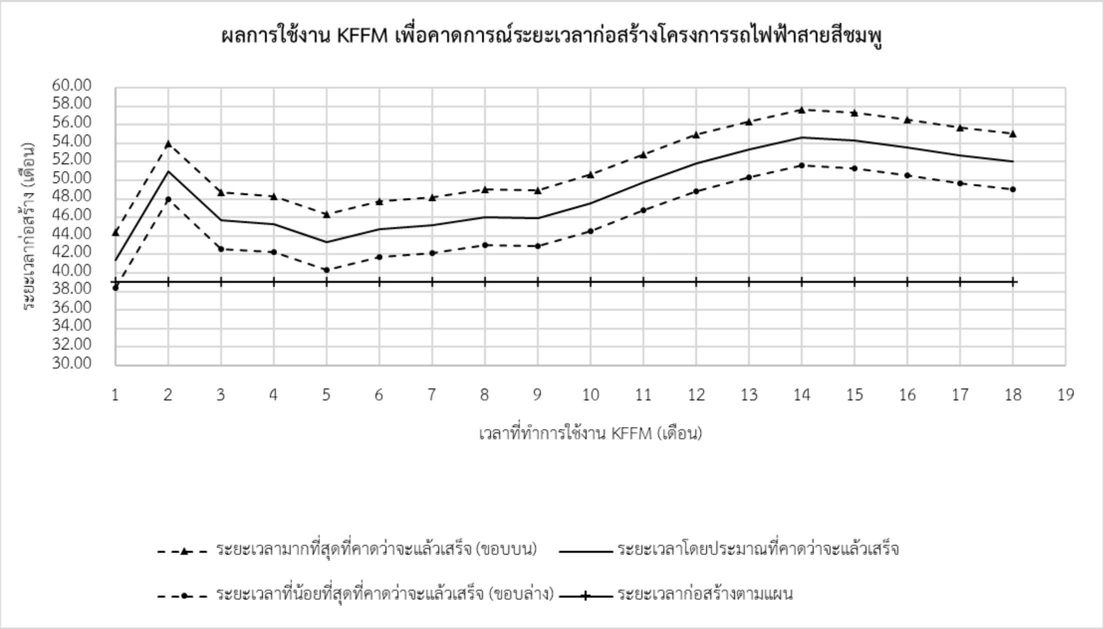
ตารางที่ 6.1 สรุปค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับ KFFM

| ชื่อของตัวแปร | ค่าของตัวแปร |
|---|---|
| Initial State Vector | $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ |
| Initial error covariance matrix | $P_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ |
| Transition matrix | $A = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ |
| Process noise covariance matrix | $Q_k = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 3.38 \end{bmatrix}$ |
| Vector of Random Measurement | $v_k = 0$ |
| Observation Matrix | $H = [1 \quad 0]$ |
| Measurement error covariance matrix | $R = [0]$ |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.2 ผลการคำนวณโดยการใช้ KFFM สำหรับโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู

| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.06 | 0.00 | -0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.94 | 41.43 | 1.83 |
| | 0.00 | 0.00 | 3.36 | | 0.00 | -0.06 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 2 | -0.12 | 3.36 | 3.36 | -0.47 | 1.00 | -0.47 | 0.00 | 0.00 | 1.53 | 50.98 | 1.83 |
| | -0.06 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.41 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 3 | -0.88 | 3.36 | 3.36 | -0.44 | 1.00 | -0.44 | 0.00 | 0.00 | 2.56 | 45.65 | 1.83 |
| | -0.41 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | 0.03 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 4 | -0.40 | 3.36 | 3.36 | -0.55 | 1.00 | -0.55 | 0.00 | 0.00 | 3.45 | 45.26 | 1.83 |
| | 0.03 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.12 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 17 | -4.46 | 3.36 | 3.36 | -4.42 | 1.00 | -4.42 | 0.00 | 0.00 | 12.58 | 52.69 | 1.83 |
| | -0.11 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.07 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 18 | -4.49 | 3.36 | 3.36 | -4.51 | 1.00 | -4.51 | 0.00 | 0.00 | 13.49 | 52.04 | 1.83 |
| | -0.07 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.09 | 0.00 | 3.36 | | | |




*ภาพที่ 6.3 ผลการใช้งาน KFFM เพื่อคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู*

ภาพที่ 6.3 แสดงให้เห็นถึงระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมดของโครงการจากการใช้งาน KFFM โดยในแต่ละครั้งที่ทำการพยากรณ์จะพบว่าระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ของโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูจะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจาก KFFM จะทำการพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลจาก Progress Curve (ภาพที่ 6.2) ซึ่งภาพที่ 6.2 แสดงให้เห็นว่าโครงการกำลังประสบปัญหาที่ไม่สามารถดำเนินการก่อสร้างได้ตามแผนตั้งแต่เริ่มต้นโครงการ ถึงกระนั้นแม้จะทราบถึงสภาวะของโครงการว่าการก่อสร้างนั้นไม่เป็นไปตามแผน แต่ก็ไม่ช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องทราบถึงความเป็นไปได้ที่โครงการจะแล้วเสร็จทันเวลาตามการพยากรณ์ด้วย KFFM จะช่วยแสดงให้เห็นถึงโอกาสที่โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูจะไม่สามารถก่อสร้างได้เสร็จทันเวลา

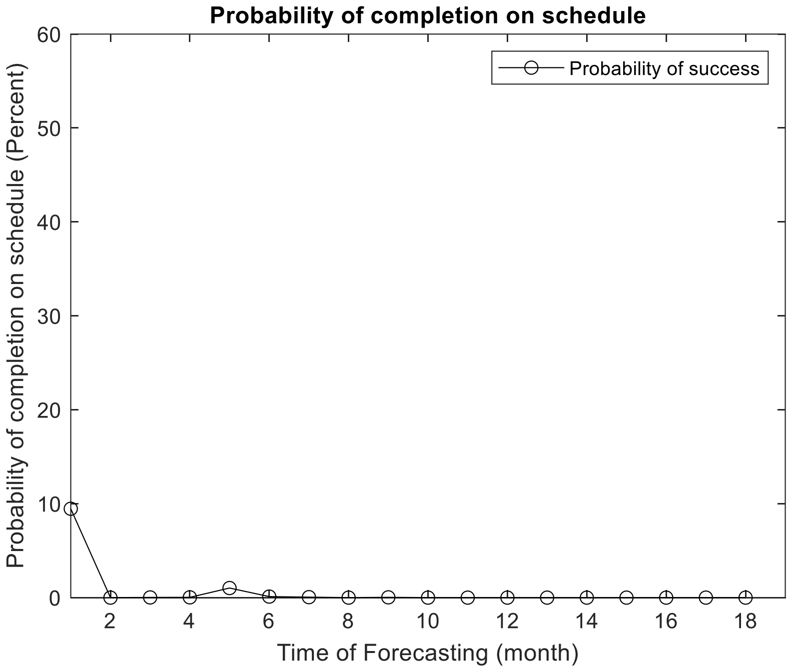
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การพยากรณ์ครั้งที่ 1 ได้ให้ผลการคาดการณ์ว่าหากผู้รับเหมายังทำงานด้วยประสิทธิภาพเท่าเดิม โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู อาจใช้เวลาก่อสร้างประมาณ 42 เดือนจนแล้วเสร็จ ซึ่งล่าช้ากว่าระยะเวลาตามสัญญา 3 เดือน อย่างไรก็ตามขอบล่างซึ่งเป็นกรอบของระยะเวลาก่อสร้างที่พยากรณ์ได้ บ่งชี้ว่าโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูยังมีโอกาสในก่อสร้างให้แล้วเสร็จได้ทันเวลา

การพยากรณ์ครั้งที่ 2 ผลการพยากรณ์คาดว่าโครงการจะใช้เวลาในการก่อสร้างประมาณ 51 เดือน โดยจะเห็นได้ว่าระยะเวลาก่อสร้างโดยมากกว่าผลจากการพยากรณ์ครั้งที่ 1 อย่างชัดเจน อันมีสาเหตุเนื่องจากค่าของ Time variance ที่ได้ทำการคำนวณได้เพื่อใช้สำหรับการพยากรณ์ครั้งที่ 2 มีค่ามากกว่าครั้งแรกเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังได้รับการปรับปรุงผลจาก Kalman Gain

อย่างไรก็ตามผลการการพยากรณ์ครั้งที่ 2 ยังมีความน่าเชื่อถือไม่มากนัก เพราะว่ายังอยู่ในช่วงระยะเริ่มต้นโครงการ อีกทั้งผลจากการใช้งาน KFFM จะยิ่งน่าเชื่อถือยิ่งขึ้นเมื่อระยะว่าผ่านไปนานมากขึ้นเพราะว่าข้อมูลสำหรับการพยากรณ์นั้นถูกปรับปรุงด้วยข้อมูลจริงมากขึ้น (Kim, 2007)

ผลการพยากรณ์ระยะเวลาก่อสร้างตั้งแต่ครั้งที่ 3 เป็นต้นไป ระยะเวลาก่อสร้างที่คาดว่าจะแล้วเสร็จเริ่มมีการปรับตัวโดยจะเห็นได้ว่าผลจากการพยากรณ์แต่ละครั้งจะมีค่าต่างกันไม่มาก เนื่องจากการที่ KFFM มีข้อมูลจริงที่ได้จากการดำเนินโครงการมากขึ้น เมื่อพิจารณาโอกาสที่โครงการดำเนินการก่อสร้างได้ทันตามระยะเวลาที่กำหนดในสัญญาดังในภาพที่ 6.4




*ภาพที่ 6.4 โอกาสที่โครงการสามารถเสร็จก่อนระยะเวลาตามแผน*

จะเห็นได้ว่าตลอดการพยากรณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วย KFFM โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูมีโอกาสที่จะก่อสร้างได้ทันตามระยะเวลาสัญญาน้อยมากตั้งแต่ช่วงเดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 3 ดังนั้นเมื่อผู้จัดการโครงการและผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการเห็นถึงความเสี่ยงที่โครงการจะก่อสร้างไม่เสร็จทันเวลาก็ควรจะมีการวางแผนรับมือปรับกลยุทธ์ในการจัดการ หรือหาแนวทางในการบริหารสัญญาเพื่อให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยในปัจจุบันทาง NBM ได้เล็งเห็นถึงปัญหาที่โครงการจะก่อสร้างให้เสร็จได้ทันตามกรอบระยะเวลาสัญญาที่ 3 ปี 3 เดือน จึงได้มีการยื่นขอขยายระยะเวลาสัญญาในช่วงที่ 1 ซึ่งก็คือช่วงของการก่อสร้างงานโยธา โดยผู้รับสัมปทาน (NBM) ได้ขอขยายระยะเวลาก่อสร้างออกไปเป็นเวลา 365 วัน

**6.3 การประเมินมูลค่าผลกระทบกับฝ่ายที่เกี่ยวข้อง โดยใช้ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างจาก Kalman Filter Forecasting Method**

ในหัวข้อก่อนหน้านี้ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือที่ชื่อว่า Kalman Filter Forecasting Method เพื่อคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้และความเสี่ยงที่โครงการจะก่อสร้างไม่เสร็จได้ทันตามระยะเวลาสัญญา โดยในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะนำผลที่ได้จากวิธี Kalman Filter Forecasting method มาใช้ในการประเมินมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ทั้งนี้เพื่อประเมินมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่งที่มาทั้งจากเอกสารเผยแพร่บนอินเทอร์เน็ต เอกสารภายในองค์กร รวมไปถึงการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลสำคัญสำหรับการประเมินมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับแต่ละฝ่าย

**6.3.1 ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทาน**

โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูมีผู้รับสัมปทาน คือ บริษัท นอร์ทเทิร์น บางกอกโมโนเรล จำกัด (NBM) อันเป็นบริษัทในเครือกิจการร่วมค้า BSR โดยแบ่งสัญญาออกเป็น 2 ช่วงคือ (1) ก่อสร้างงานโยธา และ (2) ดำเนินให้บริการเดินรถและจัดเก็บค่าโดยสาร ทั้งนี้ในช่วงที่ 1 NBM ได้มอบหมายให้ STECON เป็นผู้รับเหมาก่อสร้างงานโยธาและติดตั้งงานระบบ ดังนั้นหาก STECON ซึ่งเป็นผู้รับเหมาทำการก่อสร้างไม่เสร้จตามระยะเวลาสัญญาย่อมส่งผลไม่ดีต่อผู้รับสัมปทานอย่างแน่นอน

ในการสัมภาษณ์ครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์จาก ดร.ประสิทธิพนธ์ โสวาปี ผู้จัดการโครงการด้านงานโยธา โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู ซึ่งได้ให้ข้อมูลและแนวคิดที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้ทำให้เข้าใจรายละเอียดของความเสียหายและสามารถสรุปรายการความเสียหายที่เกิดขึ้นในตารางหน้าถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.3 รายการผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทาน

| **ผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง** | | |
|---|---|---|
| **รายการผลกระทบ** | **เกิดผลกระทบ** | **ไม่เกิดผลกระทบ** |
| **ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านการบริหารจัดการโครงการ** | | |
| **1. ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร** | ● | |
| บุคลากรโครงการ | | |
| **2. ค่าโสหุ้ย** | ● | |
| **3. ค่าใช้จ่ายด้านการขยายระยะเวลาประกันที่ยึดออกไป** | ● | |
| **4. ค่าใช้จ่ายจากการเรียกร้องของที่ปรึกษาโครงการ** | ● | |
| **ผลกระทบต่อการสูญเสียการใช้ประโยชน์** | | |
| **1. ผลกระทบต่อรายได้จากค่าโดยสาร** | ● | |
| **2. ผลกระทบต่อรายได้เชิงพาณิชย์** | | |
| 2.1 รายได้จากค่าเช่าพื้นที่ภายในสถานี | ● | |
| 2.2 รายได้จากการให้เช่าพื้นที่ป้ายสำหรับโฆษณา | ● | |
| 2.3 รายได้จากค่าเช่าที่จอดรถ | ● | |
| **ผลกระทบทางด้านการเงิน** | | |
| **1. ดอกเบี้ยของการผิดนัดชำระหนี้** | | ● |
| **2. ความเสียหายจากอัตราดอกเบี้ยที่เพิ่มขึ้น** | | ● |

ก. ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านการบริหารจัดการโครงการ

(1) ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร ( $SD$ )

กลุ่ม BSR ได้มอบหมายให้ BTS เป็นผู้ควบคุมและตรวจการก่อสร้างงานโยธา ทั้งนี้ ผู้วิจัยไม่สามารถระบุค่าต่าง ๆ อย่างแน่ชัดได้ เนื่องจากเป็นความลับของทางบริษัทและไม่สามารถล่วงรู้ถึงมูลค่าที่แน่นอนได้ ดังนั้นค่าใช้จ่ายด้านบุคลากรในส่วนนี้จะเป็นมูลค่าที่ได้จากคาดการณ์ด้วยประสบการณ์เพื่อใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ โดยประมาณการจากบุคลากรในผังโครงการ (ซึ่งได้รับคำแนะนำจากผู้ให้สัมภาษณ์) คาดการณ์ว่าในช่วงระยะเวลาก่อสร้างงานโยธา 3 ปี 3 เดือน อาจมีค่าใช้จ่ายด้านบุคลากรโดยประมาณ 600 ล้านบาท

เมื่อโครงการไม่สามารถสร้างให้ได้เสร็จทันระยะเวลาสัญญาจะส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านบุคลากรเป็นจำนวนวันละ 512,820 บาท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(2) ค่าโสหุ้ย หรือ Overhead Expense ( $DAOH$ )

ประสิทธิพนธ์ โสวาปี (2564) กล่าวว่าค่าโสหุ้ยเป็นสิ่งที่คำนวณได้ยาก ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้ค่า Factor F สำหรับการประมาณมูลค่าความเสียหายจากค่าโสหุ้ย ซึ่งในกรณีโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูจะใช้ Factor F ที่อัตราประมาณร้อยละ 5.7 ของมูลค่างานตามสัญญาที่ 45,764 ล้านบาท

จากที่กล่าวมาสามารถคำนวณมูลค่าความเสียหายจากค่าโสหุ้ยที่เกิดจากความล่าช้าในการก่อสร้างเป็นจำนวนวันละ 2,229,528 บาท

(3) ค่าใช้จ่ายด้านการขยายระยะเวลาประกันที่ยืดออกไป ( $IED$ )

เบี้ยประกันภัยขึ้นอยู่กับความเสี่ยงและมูลค่าความเสียหายที่ประกันครอบคลุมในกรณีของโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู มูลค่าของเบี้ยประกันภัยที่แน่นอนไม่สามารถระบุได้ เนื่องจากเป็นความลับของบริษัท ทำให้มีผู้ที่ทราบข้อมูลมีจำนวนไม่มากและไม่เป็นที่เปิดเผยต่อสาธารณะ ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่เกิดในหัวข้อนี้จะเป็นเพียงการประมาณจากประสบการณ์เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น

ทั้งนี้ผู้ให้สัมภาษณ์ไม่ทราบถึงมูลค่าเบี้ยประกันของโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู เนื่องจากทางฝ่ายที่เกี่ยวข้องของบริษัทไม่สามารถทราบได้ อย่างไรก็ตามเพื่อการศึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้สัมภาษณ์ได้ให้ผู้ทำวิจัยทำการประเมินมูลค่าเบี้ยประกัน จากการศึกษาบทความของ SecureNow (2021) พบว่าเบี้ยประกันอาจมีมูลค่าประมาณร้อยละ 5 ของมูลค่าโครงการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ทำให้มูลค่าประกันโดยประมาณจะอยู่ที่ 2,288,200,000 บาท เมื่อทำการปรับเบี้ยประกันให้อยู่ในรูปแบบรายวันแล้วจะเท่ากับ 1,955,762 บาทต่อวัน

(4) ค่าใช้จ่ายจากการขยายเวลาว่าจ้างที่ปรึกษา ( $CF$ )

รฟม. ได้ทำการแต่งตั้งกลุ่มบริษัท PCPK และแต่งตั้งวิศวกรอิสระ (ICE) เพื่อเป็นตัวแทนในการปฏิบัติหน้าที่และใช้อำนาจต่าง ๆ แทน รฟม. โดย ปกรณ์ เกตุแย้ม (2564) และประสิทธิพนธ์ โสวาปี (2564) กล่าวว่าในหนังสือสัญญา รฟม. ได้มอบความรับผิดชอบในการชำระค่าจ้างให้เป็นหน้าที่ของผู้รับสัมปทาน (NBM) โดยที่ค่าจ้างที่ปรึกษากลุ่มบริษัท PCPK มีมูลค่าเท่ากับ 1,400 ล้านบาท (ที่ปรึกษา PCPK, 2562) และในส่วนมูลค่าการจ้างวิศวกรอิสระ (ICE) ผู้ให้สัมภาษณ์ได้ประมาณมูลค่าจากประสบการณ์เพื่อใช้สำหรับงานวิจัยเป็นมูลค่า 600 ล้านบาท

ดังนั้นหากมีความล่าช้าเกิดขึ้นผู้รับสัมปทานจะมีค่าใช้จ่ายจากการขยายเวลาว่าจ้างที่ปรึกษาเป็นมูลค่า 1,709,401 บาทต่อวัน

ข. ผลกระทบต่อการสูญเสียการใช้ประโยชน์

(1) ผลกระทบต่อรายได้จากค่าโดยสาร ( $SI$ )

BTS (2560) ได้ทำการระบุค่าโดยสารเฉลี่ยต่อเที่ยวโดยใช้อัตราค่าโดยสารเฉลี่ยที่เกิดขึ้นของโครงการจริงของบริษัทจากนั้นทำการปรับมูลค่าตามอัตราเงินเฟ้อจนได้อัตราค่าโดยสารเฉลี่ยที่ 31.88 บาท/เที่ยว

ในส่วนของปริมาณผู้โดยสาร BTS ได้ให้ MVA ซึ่งเป็นบริษัทที่ปรึกษาด้านการพัฒนาโครงการประเภทขนส่งเป็นผู้จัดทำ ผลจากการศึกษา MVA ได้สรุปว่าในปีที่ 1 เมื่อโครงการแล้วเสร็จคาดว่าจะมีการใช้งานอยู่ที่ 200,000 เที่ยวต่อวัน จึงสรุปได้ว่าหากมีความล่าช้าเกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อรายได้จากค่าโดยสาร 6,376,000 บาทต่อวัน

(2) ผลกระทบต่อรายได้เชิงพาณิชย์ ( $DUV$ )

รายได้เชิงพาณิชย์ของรถไฟฟ้าในกรุงเทพแต่ละสายจากสถิติแล้วจะมีสัดส่วนเมื่อเทียบกับกับรายได้จากค่าโดยสารที่ร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 15 ทั้งนี้ที่ปรึกษาทางการเงินของ BTS ให้ความเห็นว่าเนื่องจากรถไฟฟ้าสายสีชมพูนั้นอยู่บริเวณชานเมือง ดังนั้นการคาดการณ์ควรใช้สัดส่วนที่ต่ำตามหลักความระมัดระวัง จึงเลือกใช้สัดส่วนร้อยละ 10 ของรายได้ค่าโดยสาร

ด้วยเหตุนี้เมื่อมีความล่าช้าเกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อรายได้เชิงพาณิชย์เป็นมูลค่า 637,300 บาทต่อวัน

ค. ผลกระทบทางด้านการเงิน

(1) อัตราดอกเบี้ยผิดนัดชำระหนี้ ( $DI$ )

กลุ่ม NBM ได้ทำการกู้เงินจาก Asian Development Bank (ADB) ซึ่งเป็นสถาบันการเงินระหว่างประเทศ โดย ADB จะมีการส่งบุคลากรเพื่อประเมินถึงความเป็นไปได้ที่โครงการจะก่อสร้างเสร็จทันตามระยะเวลาสัญญา รวมไปถึงการประเมินผลกระทบจากการก่อสร้างต่อสังคมด้วย ทั้งนี้ผลจากการประเมินจะถูกใช้เพื่อพิจารณาการผ่อนผันการชำระเงินหากโครงการยังไม่สามารถเริ่ม

ให้บริการได้ และทางผู้รับสัมปทานได้ทำการตกลงการเริ่มชำระหนี้เมื่อโครงการเริ่มต้น อีกทั้งบริษัทได้มีการเตรียมเงินเพื่อชำระเงินกู้อยู่แล้ว ดังนั้นดอกเบี้ยของการผิดนัดชำระหนี้จึงเป็น 0

(2) อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ที่ถูกปรับ ( $INC$ )

ทางบริษัทผู้รับสัมปทานได้ทำการกู้เงินในรูปแบบ Fixed rated mortgage ซึ่งจะคงอัตราดอกเบี้ยไว้เท่าเดิม ดังนั้นความล่าช้าในการก่อร้างจึงไม่ได้รับผลกระทบจากอัตราดอกเบี้ยที่ถูกปรับ

จะเห็นว่าเอกชนผู้รับสัมปทานมีการแบกรับภาระค่าใช้จ่ายหลายรายการ หากผู้รับเหมาไม่สามารถทำการก่อสร้างให้เสร็จได้ทันตามระยะเวลาสัญญาย่อมส่งผลกระทบต่อผู้รับสัมปทานได้ จากที่กล่าวมาสามารถสรุปตัวแปร ๆ ในแบบจำลองได้ดังตารางที่ 6.4

---

<u>หมายเหตุ:</u> ค่าของตัวแปรต่าง ๆ ที่นำมาใช้กับแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินผลกระทบจากความล่าช้าในการก่อสร้างของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มาจากการรวบรวมข้อมูล ศึกษาเอกสารเกี่ยวข้อง รวมไปถึงการคาดการณ์จากประสบการณ์ของผู้ให้สัมภาษณ์ เพื่อใช้สำหรับการศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เท่านั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6.4 สรุปรายการมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้รับสัมปทาน (NBM)

| **ผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง** | | |
|---|---|---|
| **รายการผลกระทบ** | **สมการและค่าของตัวแปรในสมการ** | **หมายเหตุ** |
| **ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านการบริหารจัดการโครงการ** | | |
| **1. ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร**<br>บุคลากรโครงการ | $SD = SL \times PS \times t_{dl}$<br>$SD = 512,820 \times t_{dl}$ บาท | งบการจ้างพนักงาน 600 ล้านบาท เป็นการคาดการณ์จากประสบการณ์เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น |
| **2. ค่าโสหุ้ย** | $OH = P_{OH} \times DC$<br>$DAOH = \frac{OH}{PD} \times t_{dl}$<br>$P_{OH} = 0.057$<br>$DC = 46,754$ ล้านบาท<br>$DAOH = 2,229,528 \times t_{dl}$ | ไม่มีการทำบัญชีค่าโสหุ้ยจึงต้องประมาณด้วย Factor F |
| **3. ค่าใช้จ่ายด้านการขยายระยะเวลาประกันที่ยืดออกไป** | $IED = IE \times t_{dl}$<br>$IED = 1,955,762 \times t_{dl}$ บาท | มูลค่าเบี้ยประกันดังกล่าวเป็นมูลค่าประมาณการ เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น |
| **4. ค่าใช้จ่ายจากการเรียกร้องของที่ปรึกษาโครงการ** | $CF = \frac{(PMC + CFC + ICE)}{PD} \times t_{dl}$<br>$PMC + CFC = 1,400$ ล้านบาท<br>$*\,ICE = 600$ ล้านบาท<br>$CF = 1,709,401 \times t_{dl}$ บาท | ไม่อยู่ในความรับผิดชอบของรฟม. หนังสือสัญญาระบุว่า NBM เป็นผู้ออกค่าใช้จ่าย *ค่าจ้างที่ปรึกษาอิสระ (ICE) เป็นการประมาณจากประสบการณ์เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6.4 (ต่อ) สรุปรายการมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้รับสัมปทาน (NBM)

| ผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง | | |
|---|---|---|
| **รายการผลกระทบ** | **สมการและค่าของตัวแปรในสมการ** | **หมายเหตุ** |
| **ผลกระทบทางการเงิน** | | |
| **1. ดอกเบี้ยการผิดนัดชำระหนี้** | $DI = PP \times (IP - IR) \times \frac{t_{dl}}{365}$<br>$DI = 0$ | ไม่ได้รับผลกระทบเพราะ 1.การชำระเงินกู้จะชำระเมื่อเปิดให้บริการ 2.มีการสำรองเงินทุนเพื่อชำระหนี้แล้ว |
| **2. มูลค่าดอกเบี้ยเงินกู้ที่ถูกปรับ** | $INC = RP \times \frac{(IR_i - IR_0)}{365} \times t_{dl}$<br>$INC = 0$ | ไม่ได้รับผลกระทบเพราะเป็นการกู้เงินแบบ Fixed rate mortgage |
| **ผลกระทบต่อรายได้จากการใช้ประโยชน์ของโครงการ** | | |
| 1. ผลกระทบต่อรายได้จากค่าโดยสาร | $SI = DPS \times ATC \times t_{dl}$<br>$DPS = 200,000$ เที่ยว/วัน<br>$ATC = 31.88$ บาท/เที่ยว<br>$SI = 6,376,000 \times t_{dl}$ บาท | |
| 2. ผลกระทบต่อรายได้เชิงพาณิชย์ | $DUV = e \times SI$<br>$e = 0.1$<br>$SI = 6,376,000 \times t_{dl}$ บาท<br>$DUV = 637,600 \times t_{dl}$ บาท | $e$ เป็น 0.1 จากสถิติรายได้เชิงพาณิชย์มีมูลค่าร้อยละ 10-15 ของรายได้ค่าโดยสาร ซึ่งรถไฟฟ้าสายสีชมพูมีเส้นทางผ่านชานเมืองเป็นหลักจึงใช้ปริมาณต่ำที่สุด |
| **รวมมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้รับสัมปทาน (NBM)** | $IMP_{conc.} = 13,421,111 \times t_{dl}$ บาท | $t_{dl}$ คือระยะเวลาก่อสร้างที่ล่าช้า |

### 6.3.2 ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อภาครัฐเจ้าของโครงการร่วมกับประชาชน

โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู ซึ่งเป็นโครงการภายใต้การดูแลของ รฟม. มีวัตถุเพื่อบรรเทาการจราจรขัดรวมไปถึงเพื่อการอำนวยความสะดวกให้แก่ประชาชน ในการประเมินความเป็นไปได้ของโครงการ รฟม. ได้คำนึงถึงผลประโยชน์ของประชาชนเป็นที่ตั้ง ทำให้ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจจากความล่าช้าในการก่อสร้างย่อมส่งผลต่อประชาชนโดยตรง (ปกรณ์ เกตุแย้ม, 2564) อีกทั้ง รฟม. เป็นหน่วยงานรัฐวิสาหกิจซึ่งมีลักษณะเหมือนตัวแทนของประชาชนผู้เสียภาษี ซึ่งงบประมาณในการดำเนินงานบางส่วนก็มาจากรัฐบาล ดังนั้นผลกระทบจากความล่าช้าที่เกิดขึ้นให้จึงให้ถือว่าเป็นผลกระทบร่วมกันระหว่างภาครัฐและเอกชน โดยสามารถสรุปรายการความเสียหายที่เกิดขึ้นในตารางด้านล่าง

ตารางที่ 6.5 รายการผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อภาครัฐเจ้าของโครงการร่วมกับประชาชน

| **ผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง** | | |
|---|---|---|
| **รายการผลกระทบ** | **เกิดผลกระทบ** | **ไม่เกิดผลกระทบ** |
| **ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านการบริหารจัดการโครงการ** | | |
| **1. ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร** | | |
| บุคลากรโครงการ | ● | |
| **2. ค่าโสหุ้ย** | ● | |
| **3. ค่าใช้จ่ายด้านการขยายระยะเวลาประกันที่ยืดออกไป** | | ● |
| **4. ค่าใช้จ่ายจากการเรียกร้องของที่ปรึกษาโครงการ** | | ● |
| **ผลกระทบทางด้านการเงิน** | | |
| **1. ดอกเบี้ยของการผิดนัดชำระหนี้** | | ● |
| **2. ความเสียหายจากอัตราดอกเบี้ยที่เพิ่มขึ้น** | | ● |
| **ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจสังคม** | | |
| **1. ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่ประหยัดได้** | | |
| 1.1 ค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยาน | ● | |
| 1.2 มูลค่าเวลาของผู้ใช้รถ | ● | |
| 1.3 ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุ | ● | |
| **2. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม** | | |
| 2.1 ต้นทุนค่ากำจัดมลภาวะทางอากาศจากการใช้ยานพาหนะ | ● | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก.ผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง

(1) ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านการบริหารจัดการโครงการ

(1.1) ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร ( $SD$ )

สำหรับโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู รฟม. ไม่ได้มีการมอบหมายบุคลากรเข้าไปควบคุมโครงการโดยตรง ทำให้ไม่เกิดผลกระทบกับค่าใช้จ่ายด้านบุคลากรโดยตรง ถึงแม้ว่าในเอกสารรายงานความคืบหน้าที่ได้รับมาจาก รฟม.จะมีการระบุรายชื่อผู้รับผิดชอบโครงการจำนวน 24 ท่าน แต่ทั้ง 24 ท่านก็มีหน้าที่ในการรับผิดชอบโครงการอื่น ๆ เช่นกัน ดังนั้นค่าใช้จ่ายด้านบุคลากรโครงการจึงไม่เกิดขึ้น เนื่องมาจากการขาดแคลนบุคลากรในฝ่ายการก่อสร้าง อย่างไรก็ตาม ปกรณ์ เกตุแย้ม (2564) ระบุว่าโครงการอื่น ๆ ของ รฟม. มีการมอบหมายหน้าที่ให้แก่เจ้าหน้าที่ฝ่ายก่อสร้างโครงการละ 1 ท่านด้วย

(1.2) ค่าโสหุ้ย หรือ Overhead Expense ( $DAOH$ )

จากการสัมภาษณ์คุณปกรณ์ได้กล่าวว่า รฟม. ไม่ได้รับความเสียหายจากค่าโสหุ้ยเลยเนื่องจากรฟม.ไม่ได้มีหน้าที่ทำการก่อสร้าง รวมไปถึงไม่มีการใช้ระบบสาธารณูปโภคภายในโครงการด้วย อีกทั้ง รฟม.ก็มีการจ่ายเงินเดือนให้กับหน้าที่ซึ่งทำการดูแลหลายโครงการอยู่แล้วซึ่งอาจมีบางครั้งที่จะต้องติดตามโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู แต่เกิดขึ้นไม่บ่อยครั้ง ซึ่งปกรณ์ เกตุแย้ม ให้ความเห็นว่ากรณีนี้มีความเสียหายเกิดขึ้นในเชิงทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติแล้วถือว่า รฟม. ไม่ได้รับความเสียใด ๆ อีกทั้งการคิดคำนวณค่าโสหุ้ยในกรณีของ รฟม. ถือว่าเป็นเรื่องยาก ดังนั้นให้ถือว่า รฟม. ไม่ได้รับความเสียจากค่าโสหุ้ย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(1.3) ค่าใช้จ่ายด้านการขยายระยะเวลาประกันที่ยืดออกไป ( $IED$ )

ภายในสัญญาที่ รฟม. (2560) ทำร่วมกับ NBM ระบุไว้อย่างชัดเจนว่าประเภทของประกันภัยที่ต้องทำคือประกันประเภทความเสี่ยงภัยทุกชนิด รวมถึงกรณีของภัยจลาจลภัยนัดหยุดงานและการก่อความไม่สงบ (Construction All Risks & Strikes, Riots and Civil Commotion) โดยผู้รับสัมปทาน (NBM) ต้องเป็นผู้ชำระเบี้ยประกันแต่เพียงผู้เดียว รวมถึงต้องสลักหลังกรมธรรม์ประกันภัยให้ รฟม. เป็นผู้เอาประกันภัยร่วม อย่างไรก็ตามหากเกิดความเสียหายนอกเหนือจากความคุ้มครองในกรมธรรม์ NBM จะเป็นผู้รับผิดชอบแต่เพียงฝ่ายเดียว

ดังที่กล่าวมาหากต้องมีการขยายระยะเวลาของประกันภัยอันเนื่องมาจากความล่าช้าย่อมเป็นความรับผิดชอบของผู้รับสัมปทาน (NBM) ไม่ทำให้ รฟม. ได้รับความเสียหายแต่อย่างใด

(1.4) ค่าใช้จ่ายจากการขยายเวลาว่าจ้างที่ปรึกษา ( $CF$ )

สัญญาระบุว่า รฟม. เป็นเพียงผู้แต่งตั้งกลุ่มที่ปรึกษาขึ้นมาเพื่อเป็นตัวแทนและใช้อำนาจตามขอบเขตที่กำหนดในนามของ รฟม. เท่านั้น ส่วนค่าใช้จ่ายในการว่าจ้างกลุ่มที่ปรึกษาเป็นหน้าที่ของผู้รับสัมปทาน (NBM) ที่ต้องออกทุนในการชำระค่าจ้างให้ที่ปรึกษา ดังนั้น รฟม. จึงไม่ได้รับความเสียหายในส่วนของค่าใช้จ่ายจากการขยายเวลาว่าจ้างที่ปรึกษา

(2) ผลกระทบทางด้านการเงิน

ปรกณ์ เกตุแย้ม (2564) ระบุว่า รฟม. ไม่ได้รับกระทบทางด้านการเงินใดๆ เนื่องจากรฟม.ได้รับงบประมาณจากรัฐบาลซึ่งเป็นไปตามปีงบประมาณตามปกติ และมีที่มาจากภาษีของประชาชน ซึ่งงบประมาณที่ได้รับมานั้นเอาไว้ใช้สำหรับการเวนคืนที่ดินเท่านั้น โดยเป็นไปตามที่เอกสารสัญญาการร่วมทุนของโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู (รฟม., 2560)

(2.1) อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ที่ถูกปรับ ( $INC$ )

ไม่มีความเสียหายใดเกิดขึ้นเนื่องจากในส่วนนี้เป็นงบประมาณที่มาจากภาษีของประชาชนซึ่งไม่ใช่เงินที่รัฐบาลกู้มาแต่อย่างใด

(2.2) อัตราดอกเบี้ยผิดนัดชำระหนี้ ( $DI$ )

ไม่มีความเสียหายในส่วนนี้เช่นเดียวกัน เนื่องจาก รฟม. ได้รับเงินทุนจากรัฐบาลตามปีงบประมาณอยู่แล้ว ดังนั้น รฟม. จึงไม่ได้รับความเสียหายในส่วนของการผิดนัดชำระหนี้

ข. ผลกระทบในเชิงเศรษฐศาสตร์

(1) ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่ประหยัดได้

(1.1) ค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยาน ( $VOC_{Loss}$ )

ความล่าช้าในการก่อสร้างทำให้ประชาชนไม่สามารถใช้งานระบบรถไฟฟ้าสายสีชมพูได้ ดังนั้นประชาชนที่ต้องการที่จะใช้รถไฟฟ้าสายสีชมพูกลับมีความต้องใช้รูปแบบการสัญจรด้วยยวดยานลักษณะเดิม ส่งผลให้เกิดภาระค่าใช้จ่ายต่อประชาชนอย่างต่อเนื่อง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากเอกสารรายงานความเป็นไปได้ในการลงทุนโครงการ พบว่าความเร็วของยานพาหนะที่สัญจรบริเวณโครงการมีความเร็วเฉลี่ย 21.25 กม./ชม. ก่อนที่จะมีโครงการ และคาดการณ์ว่าจะมีความเร็ว 21.36 กม./ชม. หลังโครงการเสร็จสิ้น และมี $VKT_o$ เท่ากับ 157,911,053 PCU-กม./วัน และ $VKT_p$ หลังจากมีโครงการเท่ากับ 157,564,998 PCU-กม./วัน เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยานจะได้ว่าความล่าช้าในการก่อสร้างส่งผลค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยานวันละ 6,867,930.46 บาท/วัน

(1.2) มูลค่าเวลาของผู้ใช้รถ ($VOT_{Loss}$)

จุดประสงค์หนึ่งของโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูคือเพื่อช่วยบรรเทาการจราจรติดขัดและประหยัดระยะเวลาในการเดินทาง หากโครงการไม่สามารถก่อสร้างได้เสร็จทันเวลาจะทำให้ประชาชนผู้สัญจรยังต้องเจอกับปัญหาการจราจรติดขัดเหมือนก่อนที่ยังไม่มีโครงการ

จากการเก็บข้อมูลพบว่าระยะเวลารวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีไม่มีโครงการ ($VHT_o$) เท่ากับ 7,433,595 PCU-ชั่วโมง/วัน และระยะเวลารวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีที่มีโครงการ ($VHT_p$) มีปริมาณคือ 7,380,135 PCU-ชั่วโมง/วัน โดยที่มูลค่าของเวลาของผู้ใช้โครงการมีจำนวนเท่ากับ 231.67 บาท/ชม.

เพราะฉะนั้นหากโครงการเกิดความล่าช้าขึ้นจะส่งผลต่อมูลค่าเวลาของผู้ใช้รถเป็นมูลค่าเท่ากับ 12,385,078.2 บาทต่อวัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(1.3) ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุ ($AC$)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

หากเวลาในการก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ก็ทำให้ประชาชนได้รับความเสี่ยงจากที่เกิดอุบัติเหตุมากขึ้น (ปกรณ์ เกตุแย้ม, 2564) อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเป็นสิ่งที่คำนวณได้ยากและไม่ได้เป็นตัวแปรที่นำมาใช้ในประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของโครงการ ดังนั้นจึงให้มูลค่าความเสียหายเนื่องจากอุบัติเหตุเป็น 0 บาท

(2) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

(2.1) ต้นทุนค่ากำจัดมลภาวะทางอากาศจากการใช้ยานพาหนะ ($EC_{Loss}$)

ความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูส่งผลให้ปริมาณการจราจรในระบบไม่เปลี่ยนแปลง ก่อให้เกิดการสร้างมลพิษในอากาศ ซึ่งก่อให้เกิดต้นทุนในการ

กำจัดมลภาวะ เมื่อใดที่โครงการเปิดให้บริการแล้วจะช่วยลดต้นทุนในการกำจัดมลพิษได้เนื่องจากมีปริมาณจราจรลดลง จากข้อมูลที่ได้รับมาพบว่าระยะทางรวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีไม่มีโครงการ ($VKT_o$) เท่ากับ 157,911,053 PCU-กม./วัน และระยะทางรวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีที่มีโครงการ ($VKT_p$) เท่ากับ 157,564,998 PCU-กม./วัน และมีค่าใช้จ่ายในการกำจัดมลภาวะของยานพาหนะตัวแทนเท่ากับ 5 บาท/PCU-กม. ดังนั้นมูลค่าต้นทุนกำจัดมลภาวะที่เกิดขึ้นจึงเท่ากับ 1,730,275 บาท/วัน

จะเห็นว่าสำหรับโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู ความล่าช้าในการก่อสร้างที่เกิดขึ้นส่งกระทบต่อภาระค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการโครงการในเชิงทฤษฎีเท่านั้น แต่ส่วนในเชิงปฏิบัตินั้นความล่าที่เกิดขึ้นไม่ส่งผลกระทบใด ๆ ต่อ รฟม. แต่ในขณะเดียวกันความล่าช้าดังกล่าวกลับส่งผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์ในหลายรายการ ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายแก่ประชาชนเป็นมูลค่าที่สูง จากรายการความเสียหายที่เกิดขึ้นสามารถสรุปค่าของตัวแปรและมูลค่าความเสียหายได้ดังตารางในหน้าถัดไป

---

<u>หมายเหตุ:</u> ค่าของตัวแปรต่าง ๆ ที่นำมาใช้กับแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินผลกระทบจากความล่าช้าในการก่อสร้างของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มาจากการรวบรวมข้อมูล ศึกษาเอกสารเกี่ยวข้อง รวมไปถึงการคาดการณ์จากประสบการณ์ของผู้ให้สัมภาษณ์ เพื่อใช้สำหรับการศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เท่านั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.6 สรุปรายการมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับภาครัฐ (รฟม.) ร่วมกับประชาชน

| ผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายจากความล่าช้าในการก่อสร้าง | | |
|---|---|---|
| **รายการผลกระทบ** | **สมการและค่าของตัวแปรในสมการ** | **หมายเหตุ** |
| **ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านการบริหารจัดการโครงการ** | | |
| **1. ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร**<br>บุคลากรโครงการ | $SD = SL \times P \times t_{dl}$<br>$SD = 0$ | รฟม. ไม่มีบุคลากรที่รับผิดชอบโครงการโดยตรง สำหรับโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู |
| **2. ค่าโสหุ้ย** | $OH = P_{OH} \times DC$<br>$DAOH = \frac{OH}{PD} \times t_{dl}$<br>$P_{OH} = 0$<br>$DAOH = 0$ | รฟม. ให้ความเห็นว่าเกิดขึ้นในทางทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติแล้วไม่มีผลกระทบต่อรฟม. |
| **3. ค่าใช้จ่ายด้านการขยายระยะเวลาประกันที่ยึดออกไป** | $IED = IE \times t_{dl}$<br>$IED = 0$ | ไม่อยู่ในความรับผิดชอบของรฟม. หนังสือสัญญาระบุว่า NBM เป็นผู้ออกค่าใช้จ่าย |
| **4. ค่าใช้จ่ายจากการเรียกร้องของที่ปรึกษาโครงการ** | $CF = \frac{(PMC + CFC + ICE)}{PD} \times t_{dl}$<br>$CF = 0$ | ไม่อยู่ในความรับผิดชอบของรฟม. หนังสือสัญญาระบุว่า NBM เป็นผู้ออกค่าใช้จ่าย |

ตารางที่ 6.6 สรุปรายการความเสียหายที่เกิดขึ้นกับภาครัฐ (รฟม.) ร่วมกับประชาชน (ต่อ)

| **ผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง** | | |
|---|---|---|
| **รายการผลกระทบ** | **สมการและค่าของตัวแปรในสมการ** | **หมายเหตุ** |
| **ผลกระทบทางการเงิน** | | |
| **1. ดอกเบี้ยการผิดนัดชำระหนี้** | $DI = PP \times (IP - IR) \times \frac{t_{dl}}{365}$<br>$DI = 0$ | ไม่ได้รับผลกระทบ |
| **2. มูลค่าดอกเบี้ยเงินกู้ที่ถูกปรับ** | $INC = RP \times \frac{(IR_i - IR_0)}{365} \times t_{dl}$<br>$INC = 0$ | ไม่ได้รับผลกระทบ |

ตารางที่ 6.6 สรุปรายการความเสียหายที่เกิดขึ้นกับภาครัฐ (รฟม.) ร่วมกับประชาชน (ต่อ)

| **ผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจสังคมจากความล่าช้าในการก่อสร้าง** | | |
|---|---|---|
| **รายการผลกระทบ** | **สมการและค่าของตัวแปรในสมการ** | **หมายเหตุ** |
| **ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่ประหยัดได้** | | |
| **1.ค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยาน** | $VOC_{Loss} = \left[(VOC_o \times VKT_o) - (VOC_p \times VKT_p)\right] \times t_{dl}$<br>$VOC_o = 9.74$ บาท/PCU-กิโลเมตร<br>$VOC_p = 9.72$ บาท/PCU-กิโลเมตร<br>$VKT_o = 157{,}911{,}053$ PCU-กิโลเมตร/วัน<br>$VKT_p = 157{,}564{,}998$ PCU-กิโลเมตร/วัน<br>$VOC_{Loss} = 6{,}867{,}930.46 \times t_{dl}$ บาท | ความเร็วเฉลี่ยก่อนมีโครงการ<br>21.25 กิโลเมตร/ชั่วโมง<br>ความเร็วเฉลี่ยเมื่อมีโครงการ<br>21.36 กิโลเมตร/ชั่วโมง |

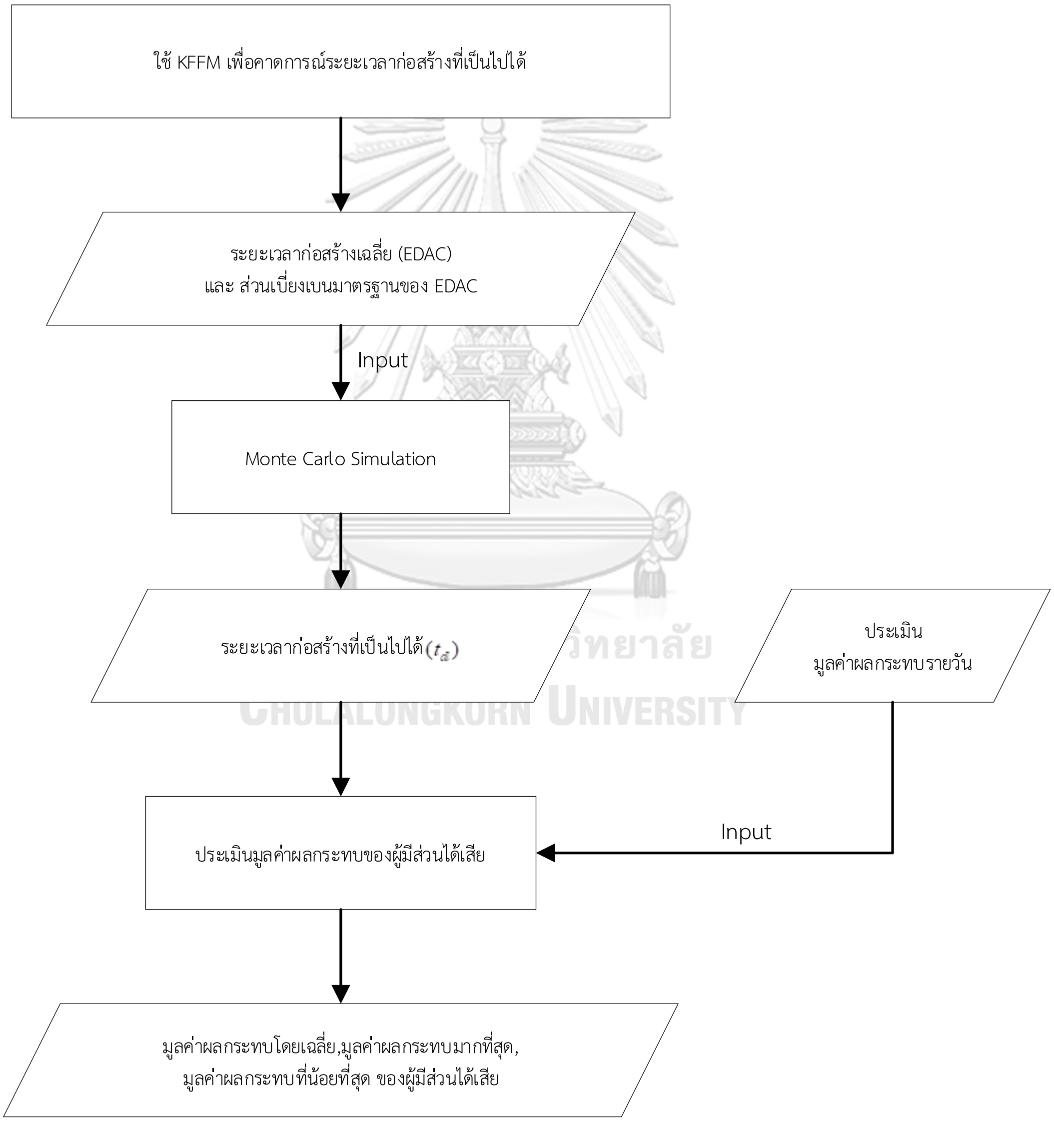
ตารางที่ 6.6 สรุปรายการความเสียหายที่เกิดขึ้นกับภาครัฐ (รฟม.) ร่วมกับประชาชน (ต่อ)

| **ผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจสังคมจากความล่าช้าในการก่อสร้าง** | | |
|---|---|---|
| รายการผลกระทบ | รายการผลกระทบ | หมายเหตุ |
| **ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่ประหยัดได้** | | |
| **2.มูลค่าเวลาของผู้ใช้รถ** | $VOT_{Loss} = \left[(VOT \times VHT_o) - (VOT \times VHT_p)\right] \times t_{dl}$<br>$VOT = 231.67$ บาท/ชั่วโมง<br>$VHT_o = 7,433,595$ PCU-ชั่วโมง/วัน<br>$VHT_p = 7,380,135$ PCU-ชั่วโมง/วัน<br>$VOT_{Loss} = 12,385,078.2 \times t_{dl}$ บาท | - |
| **3.ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุ (ถ้ามี)** | วิธีต้นทุนมนุษย์ (Human Capital approach)<br>$AC = 0$ | คำนวณได้ยาก รฟม. ไม่ได้นำส่วนนี้เข้ามาพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจด้วย |
| **ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม** | | |
| **1.ต้นทุนค่ากำจัดมลภาวะทางอากาศ** จากการใช้ยานพาหนะ | $EC_{Loss} = \left[(EC \times VKT_o) - (EC \times VKT_p)\right] \times t_{dl}$<br>$EC = 5$ บาท/PCU-กิโลเมตร<br>$VKT_o = 157,911,053$ PCU-กิโลเมตร/วัน<br>$VKT_p = 157,564,998$ PCU-กิโลเมตร/วัน<br>$EC_{Loss} = 1,730,275 \times t_{dl}$ บาท | - |
| **รวมมูลค่าผลกระทบเกิดขึ้นกับภาครัฐ (รฟม.) ร่วมกับประชาชน** | $IMP_{govt+ppl.} = 20,983,283.66 \times t_{dl}$ บาท | $t_{dl}$ คือระยะเวลาก่อสร้างที่ล่าช้า |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 6.3.3 การคาดการณ์มูลค่าผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

เมื่อทำการรวบรวมมูลค่าผลกระทบรายวันแล้ว ในเนื้อหาต่อจากนี้จะเป็นการนำมูลค่าดังกล่าวไปใช้ในการประเมินผลกระทบล่วงหน้า โดยผู้วิจัยจะนำผลจากการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างจาก KFFM ในแต่ละครั้งมาทำการ Monte Carlo simulation ด้วย MATLAB เพื่อหาระยะเวลาก่อสร้างที่ไม่เป็นไปตามระยะเวลาสัญญา ($t_{dl}$) และทำการคำนวณมูลค่าผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตด้วย โดยสรุปขั้นตอนได้ดังภาพที่ 6.5



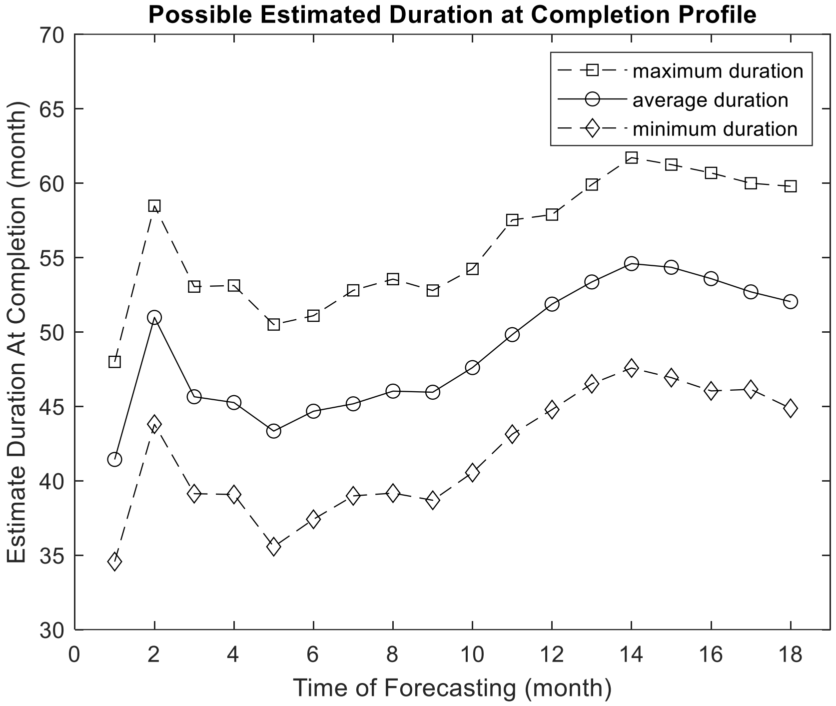

*ภาพที่ 6.5 Flowchart การประเมินมูลค่าผลกระทบจากระยะเวลาก่อสร้าง*

เมื่อนำผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างที่ได้จาก KFFM ในตารางที่ 6.2 ไปทำการจำลองระยะเวลาก่อสร้างด้วยวิธี Monte Carlo Simulation โดยโปรแกรม MATLAB จะทำให้ได้ระยะเวลาก่อสร้างเฉลี่ย ระยะเวลาก่อสร้างสูงสุดและระยะเวลาก่อสร้างต่ำสุด ดังตารางที่ 6.7 และสรุปเป็นแผนภาพดังในภาพที่ 6.6

ตารางที่ 6.7 สรุปผลระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ของโครงการ รถไฟฟ้าสายสีชมพูจากการใช้ KFFM

| ผลการ Simulation จากข้อมูล KFFM (ครั้งที่) | ระยะเวลาก่อสร้างต่ำสุด (เดือน) | ระยะเวลาก่อสร้างเฉลี่ย (เดือน) | ระยะเวลาก่อสร้างสูงสุด (เดือน) |
|---|---|---|---|
| 1 | 34.57 | 41.43 | 47.99 |
| 2 | 43.80 | 50.98 | 58.48 |
| 3 | 39.13 | 45.64 | 53.05 |
| 4 | 39.08 | 45.26 | 53.12 |
| 5 | 35.57 | 43.34 | 50.50 |
| 6 | 37.41 | 44.67 | 51.09 |
| 7 | 38.99 | 45.17 | 52.80 |
| 8 | 39.17 | 46.02 | 53.55 |
| 9 | 38.69 | 45.95 | 52.78 |
| 10 | 40.55 | 47.60 | 54.24 |
| 11 | 43.13 | 49.82 | 57.52 |
| 12 | 44.78 | 51.87 | 57.89 |
| 13 | 46.52 | 53.36 | 59.90 |
| 14 | 47.57 | 54.59 | 61.71 |
| 15 | 46.93 | 54.34 | 61.24 |
| 16 | 46.04 | 53.58 | 60.69 |
| 17 | 46.14 | 52.69 | 59.99 |
| 18 | 44.87 | 52.04 | 59.79 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




*ภาพที่ 6.6 ภาพรวมระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ของโครงการ รถไฟฟ้าสายสีชมพู*

จะเห็นว่าระยะเวลาก่อสร้างเฉลี่ยที่ได้จาก Monte Carlo Simulation มีความใกล้เคียงกับระยะเวลาที่ได้คาดการณ์ได้จาก KFFM เนื่องจาก Monte Carlo Simulation จะทำการสุ่มตัวเลขโดยใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งเป็นผลที่ได้จากการใช้ KFFM ซึ่งในกรณีนี้ผู้วิจัยได้ทำการสุ่มระยะเวลาก่อสร้างเป็นจำนวน 10,000 ครั้งต่อข้อมูลจากการคาดการณ์ระยะเวลาด้วย KFFM 1 ครั้ง หากผู้วิจัยทำการสุ่มระยะเวลาก่อสร้างเป็นจำนวนครั้งมากกว่านี้ ระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้จากการ Simulation จะใกล้เคียงกับผลจาก KFFM มากขึ้น อันเป็นผลมาจากทฤษฎี The Law of Large Number

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลจากการสุ่มระยะเวลาในการก่อสร้างจะถูกนำมาใช้สำหรับการคำนวณผลกระทบจากระยะเวลาก่อสร้าง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการสุ่มระยะเวลาก่อสร้างด้วยการ simulation จำนวน 10,000 ครั้งต่อข้อมูลจากการคาดการณ์ระยะเวลาด้วย KFFM 1 ครั้ง ทำให้มีตัวแปรสุ่มซึ่งก็คือระยะเวลาก่อสร้าง 10,000 จำนวน โดยผู้วิจัยจะแสดงตัวอย่างการคำนวณในส่วนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ผลของการ Simulation จากข้อมูลที่คาดการณ์ระยะเวลาด้วย KFFM ครั้งที่ 1

จากการเก็บข้อมูลทำให้ทราบว่าความล่าช้าในการก่อสร้างก่อสร้างจะสร้างผลกระทบให้แก่เอกชนผู้รับสัมปทาน ( $IMP_{conc.}$ ) เป็นจำนวน 13,421,111 บาท/วัน (จากตารางที่ 6.3) และสร้าง

ผลกระทบให้แก่ภาครัฐและประชาชน ( $IMP_{govt+ppl.}$ ) เป็นจำนวน 20,983,283.66 บาท/วัน และ ผลจากการ simulation จากข้อมูลที่คาดการณ์ระยะเวลาด้วย KFFM ครั้งที่ 1 ได้ระยะเวลาเฉลี่ย 41.43 เดือน ในการคำนวณยังมีสิ่งที่ต้องคำนึง คือ level of detail ที่แตกต่างกันระหว่าง KFFM ซึ่งมีหน่วยเป็นเดือน และตัวแบบผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ที่มีตัวแปรเป็นจำนวนวันที่ล่าช้า ดังนั้นจึงสมมติให้ 1 เดือนมีจำนวนวันโดยเฉลี่ยเท่ากับ 365÷12 = 30.42 วัน

การคำนวณ ระยะเวลาเฉลี่ย $\mu_t = 41.43$ เดือน ระยะเวลาก่อสร้างตามแผน 39 เดือน

ระยะเวลาก่อสร้างที่ล่าช้า $t_{dl} = (41.43 - 39) \times 30.42 = 73.9 \approx 74$ วัน

ความเสียหายของเอกชนผู้รับสัมปทาน $IMP_{conc.} = 13,421,111 \times t_{dl}$

$IMP_{conc.} = 13,421,111 \times 74$

$IMP_{conc.} = 993,162,214$ บาท

ความเสียหายของภาครัฐและประชาชน $IMP_{govt+ppl.} = 20,983,283.66 \times t_{dl}$

$IMP_{govt+ppl.} = 20,983,283.66 \times 74$

$IMP_{govt+ppl.} = 1,552,762,991$ บาท

เมื่อทำการคำนวณผลกระทบจากความล่าช้าจนครบ สามารถสรุปมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผู้ที่เกี่ยวข้องได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6.8 มูลค่าผลกระทบต่อฝ่ายที่เกี่ยวข้องโดยเฉลี่ย

| การคาดการณ์ (ครั้งที่) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| ผลกระทบต่อเอกชนผู้รับสัมปทานเฉลี่ย (ล้านบาท) | 999.80 | 4,896.87 | 2,719.57 | 2,560.80 | 1,777.88 |
| ผลกระทบต่อภาครัฐและประชาชน เฉลี่ย (ล้านบาท) | 1,563.14 | 7,656.05 | 4,251.93 | 4,003.70 | 2,779.64 |

| การคาดการณ์ (ครั้งที่) | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|
| ผลกระทบต่อเอกชนผู้รับสัมปทานเฉลี่ย (ล้านบาท) | 2,322.64 | 2,525.71 | 2,873.78 | 2,843.70 | 3,519.72 |
| ผลกระทบต่อภาครัฐและประชาชน เฉลี่ย (ล้านบาท) | 3,631.35 | 3,948.83 | 4,493.03 | 4,446.01 | 5,502.93 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.8 มูลค่าผลกระทบต่อฝ่ายที่เกี่ยวข้องโดยเฉลี่ย (ต่อ)

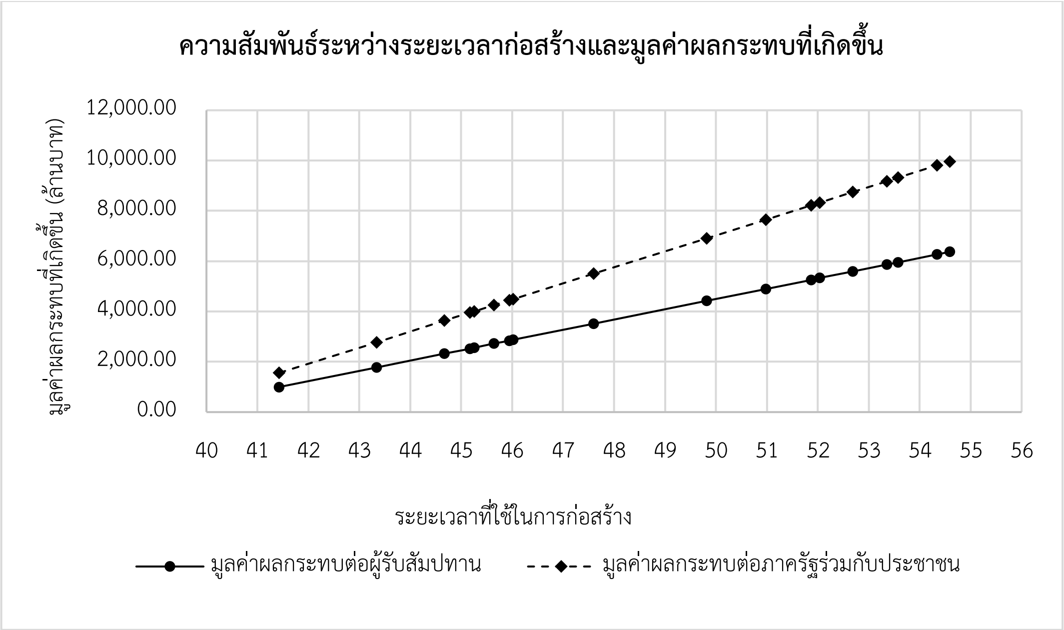
| การคาดการณ์ (ครั้งที่) | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|
| ผลกระทบต่อเอกชนผู้รับสัมปทานเฉลี่ย (ล้านบาท) | 4,424.08 | 5,260.29 | 5,868.99 | 6,372.21 | 6,271.18 |
| ผลกระทบต่อภาครัฐและประชาชนเฉลี่ย (ล้านบาท) | 6,916.86 | 8,224.24 | 9,175.91 | 9,962.68 | 9,804.72 |

| การคาดการณ์ (ครั้งที่) | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|
| ผลกระทบต่อเอกชนผู้รับสัมปทานเฉลี่ย (ล้านบาท) | 5,959.76 | 5,596.84 | 5,328.74 |
| ผลกระทบต่อภาครัฐและประชาชนเฉลี่ย (ล้านบาท) | 9,317.84 | 8,750.43 | 8,331.26 |

มูลค่าของผลกระทบที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นถึงภาระที่แต่ละฝ่ายต้องแบกรับ เมื่อวิเคราะห์มูลค่าผลกระทบที่คาดการณ์ได้ พบว่าในที่ครั้งที่ทำการคาดการณ์ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับฝ่ายรัฐร่วมกับประชาชนนั้นมีมูลค่ามากกว่าที่ฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทานได้รับ 56% ยิ่งไปกว่านั้นหากพิจารณาถึงมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับทั้ง 2 ฝ่ายจะพบว่ามีมูลค่าประมาณ 1000 ล้านบาทขึ้นไป ซึ่งมูลค่าผลกระทบที่เกิดดังกล่าวนับเป็นความสูญเสียจำนวนมาก

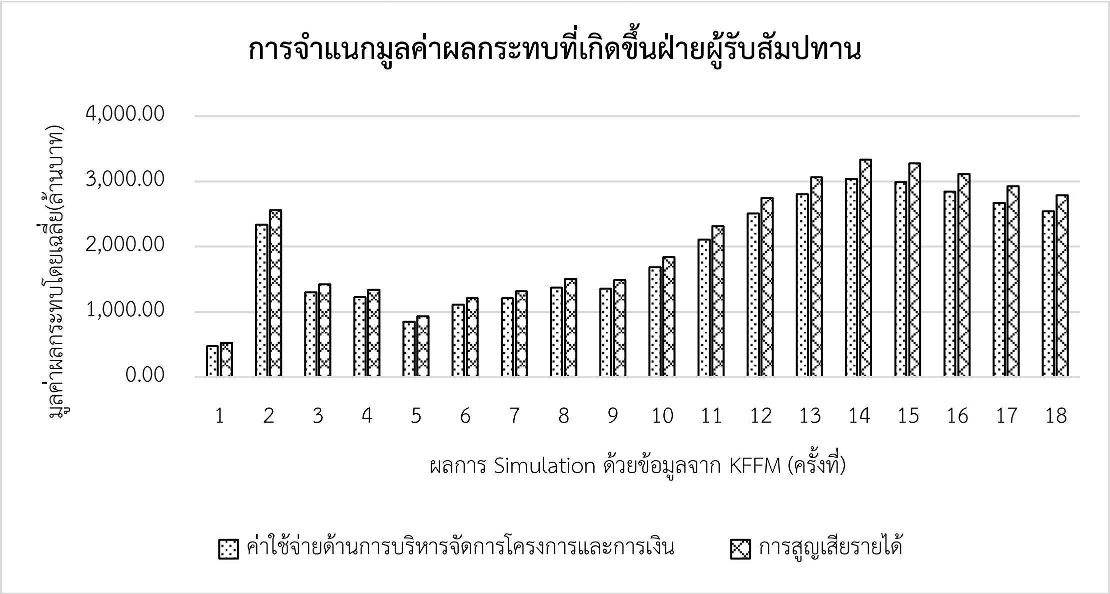
เมื่อทำการเชื่อมโยงระยะเวลาก่อสร้างเฉลี่ยในตารางที่ 6.7 และมูลค่าผลกระทบเฉลี่ยในตารางที่ 6.8 จะสังเกตได้ว่ามูลค่าของผลกระทบที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนไปตามระยะเวลาก่อสร้างเฉลี่ยของโครงการซึ่งเป็นผลมาจากการที่แบบจำลองผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์มีตัวแปรอิสระคือ ระยะเวลาก่อสร้างที่ล่าช้า ($t_{dl}$) ดังนั้นหากระยะเวลาก่อสร้างของโครงการเพิ่มขึ้นจะก่อให้เกิดผลกระทบกับผู้เกี่ยวข้องมากขึ้น ในขณะเดียวกันหากระยะเวลาก่อสร้างลดลงก็จะสร้างผลกระทบต่อผู้ที่เกี่ยวข้องลดลง (ภาพที่ 6.7)

เพื่อให้เห็นภาพรวมของผลกระทบของผู้รับสัมปทานมากขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการจำแนกมูลค่าผลกระทบของผู้รับสัมปทานออกเป็น 2 ส่วนคือ (1) ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านการบริหารจัดการโครงการและการเงิน และ (2) ผลกระทบต่อการสูญเสียรายได้ (ภาพที่ 6.8)




*ภาพที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการก่อสร้างและมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้น*

ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านการบริหารจัดการโครงการและการเงินถือเป็นรายจ่ายที่เพิ่มขึ้นของโครงการเพื่อให้โครงการดำเนินการก่อสร้างต่อไปจนแล้วเสร็จ และผลกระทบต่อการสูญเสียรายได้เปรียบเหมือนการเสียโอกาสในการสร้างรายได้ให้แก่องค์กรซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญยิ่งเพราะผู้รับสัมปทานมีจุดมุ่งหมายในการเข้ามารับสัมปทานเพื่อสร้างรายได้จากโครงการ ดังนั้นการสูญเสียรายได้ในส่วนดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อความสำเร็จของโครงการ

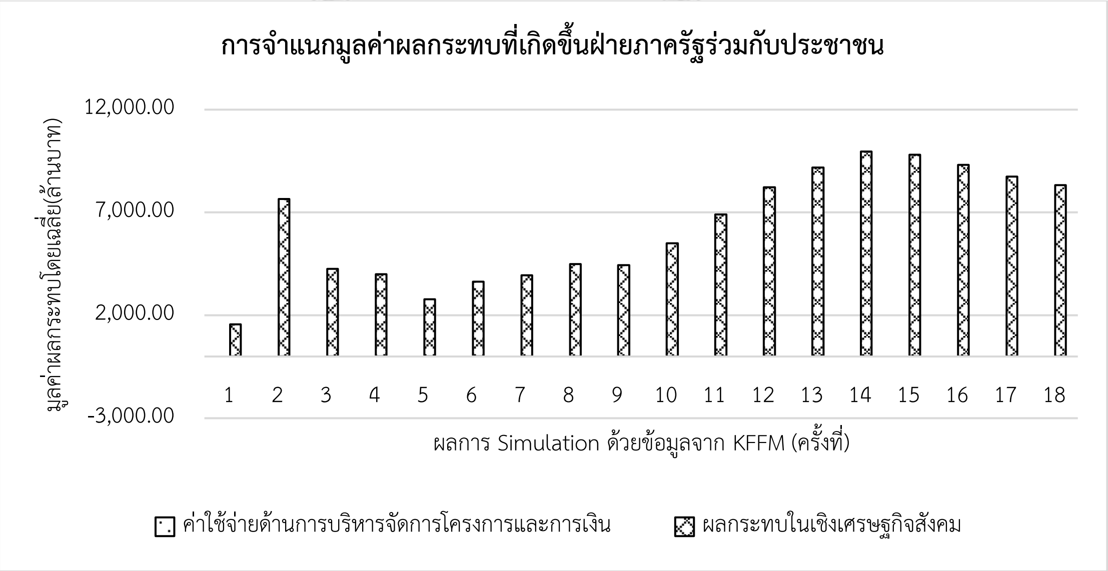



*ภาพที่ 6.8 การจำแนกมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับฝ่ายผู้รับสัมปทาน (NBM)*

มูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้รับสัมปทานในแต่ละส่วนมีมูลค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นนัยว่า หากผู้รับสัมปทานสามารถก่อสร้างให้เสร็จโดยเร็วจะช่วยส่งผลให้ลดภาระค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้น รวมไปถึงช่วยรักษารายได้ที่จะได้รับจากการให้เปิดให้บริการโครงการด้วย

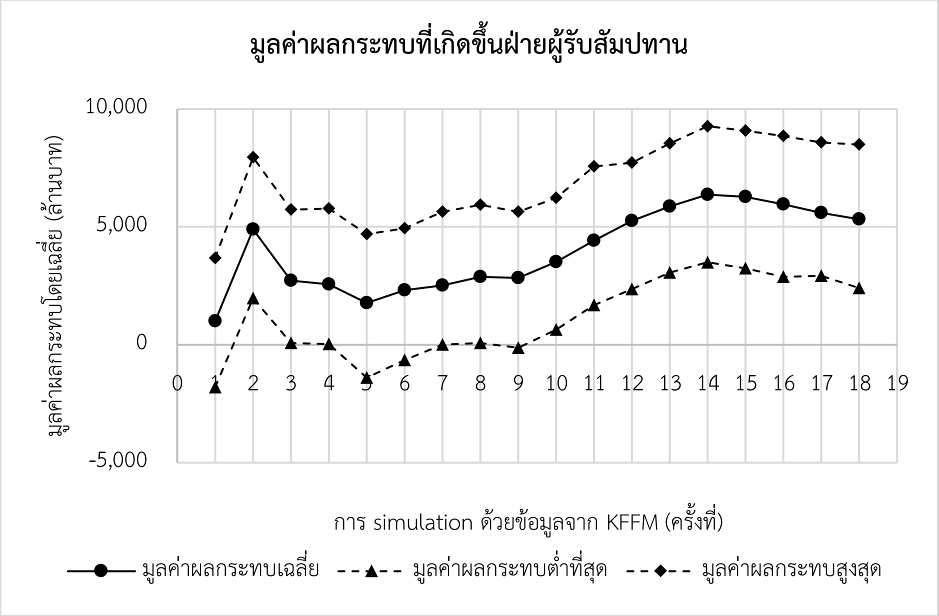
เมื่อพิจารณาในส่วนผลกระทบของฝ่ายภาครัฐร่วมกับประชาชน โดยจำแนกผลกระทบเป็น 2 ส่วนคือ คือ (1) ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านการบริหารจัดการโครงการและการเงิน และ (2) ผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจสังคมจากความล่าช้าในการก่อสร้าง

รฟม. ซึ่งเป็นหน่วยงานภาครัฐเจ้าของโครงการนั้นมีจุดประสงค์ในการพัฒนาโครงการเพื่อตอบสนองความต้องการของประชาชน และประชาชนจะได้รับผลประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจสังคมจากการพัฒนาโครงการ อย่างไรก็ตามความล่าช้าในการก่อสร้างที่เกิดขึ้น ส่งผลกระทบให้ประชาชนไม่สามารถใช้บริการได้เป็นเหตุให้ต้องทำการเดินทางสัญจรแบบเดิม นับเป็นการเสียโอกาสในการประหยัดค่าใช้จ่ายของประชาชน อีกทั้งอาจทำให้ภาครัฐต้องจ่ายงบประมาณสำหรับการบริหารจัดการโครงการ ซึ่งในภาพที่ 6.9 แสดงให้เห็นถึงว่าในกรณีรถไฟฟ้าสายสีชมพู ภาครัฐนับว่าตนอยู่ในสถานะที่ไม่สูญเสียสิ่งใดแม้แต่น้อย แต่ในขณะเดียวกันมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อภาคประชาชนอย่างรุนแรงซึ่งในการ simulation บางครั้งมีมูลค่าเสียหายทางเศรษฐกิจสังคมเกือบ 10,000 ล้านบาท

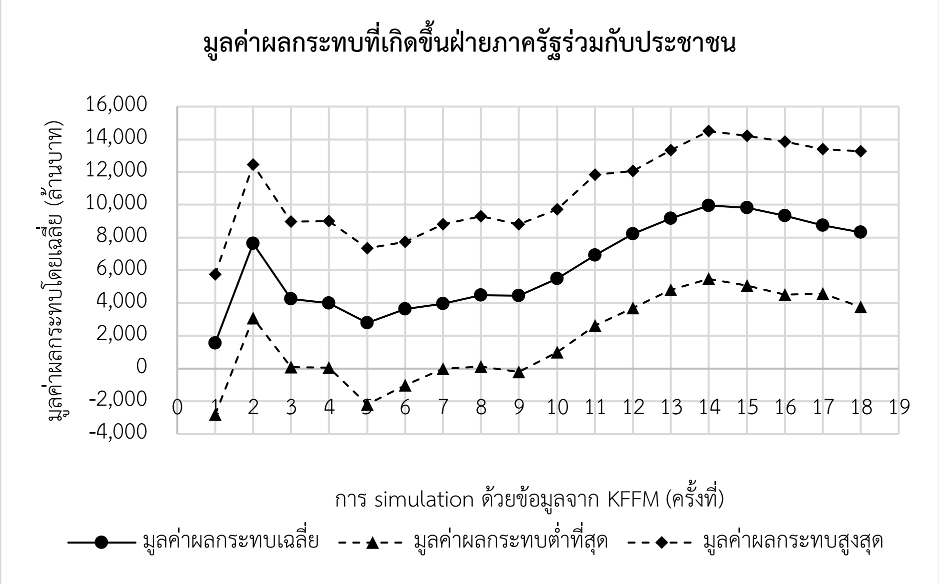



*ภาพที่ 6.9 การจำแนกมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับฝ่ายภาครัฐ (รฟม.) ร่วมกับประชาชน*

ในกรณีที่ระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้มีค่าน้อยกว่าระยะเวลาตามแผน เป็นนัยว่าโครงการจะก่อสร้างเสร็จก่อนกำหนดจะส่งผลให้มูลค่าผลกระทบเป็นลบ ซึ่งหมายถึงการก่อสร้างที่รวดเร็วจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายต่อผู้ที่เกี่ยวข้องได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้สรุปมูลค่าผลกระทบที่แปรผันตามระยะเวลาก่อสร้างที่ได้จากการ Simulation โดยภาพที่ 6.10 เป็นการสรุปมูลค่าผลกระทบต่อผู้รับสัมปทาน (NBM) และภาพที่ 6.11 เป็นการมูลค่าผลกระทบต่อภาครัฐ (รฟม.) ร่วมกับประชาชน




*ภาพที่ 6.10 มูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อผู้รับสัมปทาน (NBM)*




*ภาพที่ 6.11 มูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อฝ่ายภาครัฐ (รฟม.) ร่วมกับประชาชน*

### 6.3.4 ความเชื่อมโยงระหว่างความเสี่ยงที่โครงการจะเกิดความล่าช้าในการก่อสร้างและผลกระทบต่อผู้มีส่วนได้เสีย

เนื่องด้วยคุณสมบัติของการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วย KFFM ซึ่งให้ผลลัพธ์ในรูปของ probabilistic distribution ทำให้ผู้รับสัมปทานและภาครัฐเจ้าของโครงการ สามารถประเมินความเสี่ยงที่โครงการจะไม่สามารถสำเร็จทันระยะเวลาตามสัญญาได้ตลอดในช่วงที่กำลังมีการดำเนินการก่อสร้าง ทั้งนี้ความเสี่ยงที่โครงการจะเกิดความล่าช้านั้นมีความเชื่อมโยงกับผลกระทบต่อผู้มีส่วนได้เสียอีกด้วย ตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 โอกาสที่โครงการจะก่อสร้างล่าช้าและมูลค่าผลกระทบต่อผู้ส่วนได้เสีย

| การดำเนินการก่อสร้างเดือนที่ | โอกาสที่โครงการจะก่อสร้างล่าช้า | มูลค่าผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อผู้มีส่วนได้เสียเฉลี่ย (บาท) | |
|---|---|---|---|
| | | เอกชนผู้รับสัมปทาน | ภาครัฐร่วมกับประชาชน |
| 1 | 90.87 | 999,797,757 | 1,563,141,323 |
| 2 | 100 | 4,896,869,153 | 7,656,046,906 |
| 3 | 100 | 2,719,570,528 | 4,251,932,995 |
| 4 | 100 | 2,560,801,872 | 4,003,704,946 |
| 5 | 99.11 | 1,777,880,665 | 2,779,640,897 |
| 6 | 99.95 | 2,322,640,835 | 3,631,350,283 |
| 7 | 99.99 | 2,525,705,756 | 3,948,833,659 |
| 8 | 100 | 2,873,776,017 | 4,493,026,728 |
| 9 | 99.99 | 2,843,703,410 | 4,446,009,484 |
| 10 | 100 | 3,519,716,344 | 5,502,926,990 |
| 11 | 100 | 4,424,080,849 | 6,916,862,478 |
| 12 | 100 | 5,260,293,126 | 8,224,244,851 |
| 13 | 100 | 5,868,988,623 | 9,175,914,403 |
| 14 | 100 | 6,372,210,560 | 9,962,680,525 |
| 15 | 100 | 6,271,175,351 | 9,804,716,267 |
| 16 | 100 | 5,959,764,761 | 9,317,839,038 |
| 17 | 100 | 5,596,842,735 | 8,750,425,868 |
| 18 | 100 | 5,328,739,276 | 8,331,257,499 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อพิจารณาโอกาสที่โครงการไม่ก่อสร้างได้ทันตามแผนและมูลค่าผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น พบว่าหากโครงการมีโอกาสที่จะเกิดความล่าช้ามากขึ้น มูลค่าของผลกระทบจากความล่าช้าต่อผู้มีส่วน

ได้เสียก็จะมีมูลค่าสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากความเชื่อมโยงระหว่างโอกาสที่โครงการจะไม่สามารถก่อสร้างได้ทันตามแผนและระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ เนื่องจากการคาดการณ์โครงการใช้ระยะเวลาก่อสร้างนานมากขึ้น ย่อมหมายถึงการที่โครงการมีโอกาสที่จะล่าช้าสูงขึ้น จึงส่งผลให้มูลค่าของผลกระทบซึ่งแปรผันไปตามระยะเวลาก่อสร้างที่มากขึ้น

ข้อสังเกตอย่างหนึ่ง คือ ตั้งแต่การดำเนินการก่อสร้างในเดือนที่ 10 เป็นต้นไป ถึงแม้ว่าผลการคาดการณ์ในแต่ละเดือนที่คาดการณ์ว่า โครงการมีโอกาสร้อยละ 100 ที่จะไม่สามารถก่อสร้างได้ทันตามแผน แต่ในขณะเดียวกันมูลค่าของผลกระทบที่คาดการณ์ได้กลับสูงขึ้น ซึ่งมีสาเหตุเนื่องจากผลการคาดการณ์ของ KFFM ในแต่ละเดือนที่คาดการณ์ว่าโครงการจะใช้ระยะเวลาก่อสร้างมากขึ้นเมื่อเทียบกับผลการคาดการณ์ของเดือนก่อนหน้า และเริ่มลดลงตั้งแต่เดือนที่ 15 ซึ่งสอดคล้องกับผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างของ KFFM ที่ลดลง อย่างไรก็ตามผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างจาก KFFM ที่ระบุว่ามีการลดลงนั้น ก็ยังไม่ลดโอกาสที่โครงการจะไม่สามารถก่อสร้างได้ทันตามแผนได้ ดังนั้นหากเอกชนผู้รับสัมปทานและภาครัฐสามารถเร่งการดำเนินงานก่อสร้างเพื่อลดความเสี่ยงที่โครงการจะไม่สามารถสร้างได้ทันตามแผน ก็จะช่วยทำให้มูลค่าผลกระทบจากความล่าช้าที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตลดลง

**6.4 การประยุกต์ใช้ผลจาก KFFM เพื่อคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างแบบ Stochastic ด้วย Monte Carlo Simulation**

ผลลัพธ์ระยะเวลาก่อสร้างที่ได้จากการใช้ KFFM สามารถนำมาประยุกต์ได้อย่างหลากหลาย โดยในหัวข้อที่ 6.3 ระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้จาก KFFM ถูกนำมาใช้สำหรับการคาดการณ์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการล่วงหน้า

ผู้วิจัยเห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้งาน KFFM มีประโยชน์มากกว่าเพียงการนำมาใช้ในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นเท่านั้น เมื่อกล่าวถึงการผลที่ได้จากการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างโดย KFFM ที่สามารถแปลความหมายของคำตอบออกมาในรูปของตัวแปรสุ่มของระยะเวลาก่อสร้างที่ $X_k \sim N(EDAC_k, \sigma^2_{T_k})$ จะเห็นว่าระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างมีความไม่แน่นอนของระยะเวลาร่วมด้วย

อย่างไรก็ตามในกรอบของความไม่แน่นอนของระยะเวลานั้นอาจไม่ได้รวมเหตุสุดวิสัย (Force Majeure) ซึ่งเป็นเหตุการณ์อยู่เหนือความหมาย ไม่สามารถควบคุมได้และมีโอกาสเกิดได้โดยไม่ทันรับมือ อีกทั้งการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวมักส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อโครงการ ตัวอย่างเช่น สงครามอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง การประท้วงอาจส่งผลให้โครงการต้องหยุดชะงัก เป็นต้น

ดังนั้นเนื้อหาในส่วนนี้ผู้วิจัยจะทำการพยากรณ์ถึงโอกาสที่โครงการจะเผชิญกับเหตุสุดวิสัย รวมไปถึงคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างของโครงการที่ได้รับผลกระทบจากเหตุสุดวิสัย โดยการนำผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างจากการใช้งาน KFFM ครั้งล่าสุด เพื่อพยากรณ์ระยะเวลาก่อสร้างของโครงการในส่วนอื่นที่เหลือจนถึงระยะเวลาที่สิ้นสุดตามแผนงาน โดยตั้งเงื่อนไขว่าผู้ที่ทำการก่อสร้างทำงานด้วยอัตราผลผลิตเท่าเดิม ซึ่งจะทำให้โครงการใช้เวลาก่อสร้างเท่ากับระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้จาก KFFM ครั้งล่าสุด

ที่ผ่านมาประเทศไทยประสบปัญหาอุทกภัยบ่อยครั้ง ซึ่งผลของอุทกภัยนั้นก่อให้เกิดความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนในพื้นที่ประสบภัยพิบัติ อีกทั้งยังส่งผลกระทบโครงการต่อก่อสร้าง เช่นทำให้โครงการไม่สามารถดำเนินการได้ เนื่องจากการที่ไม่สามารถเข้าถึงหน่วยงานก่อสร้างรวมไปถึงสร้างความเสียหายแก่ส่วนของโครงสร้างที่เป็นเหล็ก ซึ่งไม่ควรสัมผัสกับน้ำ โดยเหตุการณ์น้ำครั้งรุนแรงในรอบ 10 ปีที่ทราบกันดี คือ เหตุการณ์อุทกภัยในปี พ.ศ.2554 ที่คร่าชีวิตผู้คนกว่า 800 คนและสร้างความเสียหายต่อทุกภาคส่วนเป็นมูลค่ากว่า 1.42 ล้านล้านบาท (ไทยรัฐ, 2557) เนื่องด้วยความรุนแรงของเหตุการณ์ดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเหตุการณ์ดังกล่าวมาใช้ในการจำลองระยะเวลาก่อสร้างของโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู

จากการศึกษาเอกสารของ Gale and Saunders (2013) มีการระบุถึงระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมไว้ที่ 156 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เกิดเหตการณ์น้ำท่วมจากการรวบรวมทั่วทั้งประเทศ อย่างไรก็ตามระยะเวลาดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้เป็นระยะเวลาสำหรับการหยุดการดำเนินการก่อสร้างได้เพราะไม่ใช่ระยะเวลาที่เป็นเหตุการณ์ของการที่เขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลประสบอุทกภัย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาบันทึกเหตุการณ์น้ำท่วมของ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) (2554) จนพบว่าพื้นที่ของ กทม. และปริมณฑลถูกน้ำท่วมเป็นเวลา 3 เดือน ตั้งแต่เดือนกันยายน - พฤศจิกายน พ.ศ. 2554 ดังนั้นผู้วิจัยจึงอนุมานว่าระยะเวลาที่น้ำท่วมในเขตกรุงเทพดังที่ได้กล่าวจะเป็นช่วงเวลาที่ส่งผลให้โครงการต้องหยุดทำการก่อสร้าง

Stochastic Model สำหรับการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างโดยเพิ่มเงื่อนไขที่โครงการอาจประสบอุทกภัยเช่นเดียวกับปี พ.ศ. 2554 คือ

$$X_t = X_{t-1} + X_J$$

$X_t$ = ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างโดยเฉลี่ยในเดือนที่ (t)

$X_J$ = Jump process

Jump Process เป็นกระบวนการรูปแบบหนึ่งของ Discrete Stochastic Process ซึ่งจะเกิดขึ้นแบบสุ่ม (Privault, 2013) เมื่อเกิดการ jump จะทำให้ค่าของตัวแปรสุ่มมีการขยับตัวสูงขึ้นหรือลดลงตามขนาดของการ Jump (Magnitude) โดยความน่าจะเป็นที่จะเกิด Jump process มีลักษณะเป็นการแจกแจงแบบปัวร์ซอง (Poisson distribution) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงจำนวนครั้งในการเกิดเหตุการณ์ใด ๆ ในช่วงระยะเวลาที่สนใจ เช่นจำนวนปลาที่ตกได้ในรอบ 1 วัน จำนวนรถที่ผ่านสี่แยกใน 1 ชั่วโมง เป็นต้น โดยฟังก์ชันความน่าจะเป็นของการแจกแจงปัวร์ซองเท่ากับ

$$P(k,\tau)=\frac{(\lambda\tau)^k\cdot e^{-\lambda\tau}}{k!}$$

$P(k,\tau)$ = ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์จำนวน $k$ ครั้งในช่วงเวลา $\tau$ หน่วย

$\lambda$ = สถิติของจำนวนครั้งที่เหตุการณ์เกิดขึ้นในช่วงเวลา 1 หน่วย

$e$ = ฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียล

เมื่อทราบถึงหลักการของการแจกแจงแบบปัวร์ซอง การประยุกต์ใช้กับการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ของโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูโดยมี jump process เข้ามาเกี่ยวข้อง

การคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วย KFFM ครั้งล่าสุดให้คาดว่าโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูใช้ระยะเวลาก่อสร้าง (EDAC) เท่ากับ 52.04 เดือน และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาก่อสร้างเท่ากับ 1.83 เดือน ซึ่งการสร้าง stochastic model สำหรับคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างในกรณีนี้เราจะสนใจเฉพาะ EDAC ซึ่งเป็นระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้มากที่สุดเท่านั้น โดยจะให้ $X_{(t=0)} = EDAC = 52.04$ เดือน

ในส่วนของ Jump process ซึ่งเหตุการณ์ที่สนใจคือ เหตุการณ์อุทกภัยปี พ.ศ. 2554 ซึ่งมีสาเหตุเกิดจากสภาพอากาศและปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่อยู่เหนือความควบคุมของมนุษย์ Gale and Saunders (2013) กล่าวว่าเหตุอุทกภัยปี 2554 มีคาบการเกิดซ้ำ (return period) อยู่ที่ระยะ 10-20 ปี ซึ่งคาบการเกิดซ้ำดังกล่าวอาจจะมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปเพราะประเทศไทยอาจมีการพัฒนาการบริหารจัดการเพื่อป้องกันและบรรเทาเหตุการณ์ดังกล่าว ทั้งนี้ในปัจจุบันเป็นระยะเวลาล่วงเลยกว่า 8 ปีแล้วจากที่งานวิจัยของ Gale and Saunders (2013) ได้รับการตีพิมพ์ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้คาบการเกิดซ้ำที่ 20 ปี และเมื่อหากเกิดเหตุการณ์ลักษณะเดิมทำให้กรุงเทพมหานครถูกน้ำท่วมและส่งผลให้โครงการไม่สามารถทำการก่อสร้างเป็นระยะเวลา 3 เดือนเท่ากับที่เคยเกิดขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2554 ดังนั้นสามารถสรุป Jump process ได้ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$X_J$ = Jump process

ระยะเวลาที่การก่อสร้างไม่สามารถดำเนินการได้ (Magnitude ของการ Jump) = +3 เดือน

คาบของการเกิดซ้ำ (Return period) = 20 ปี

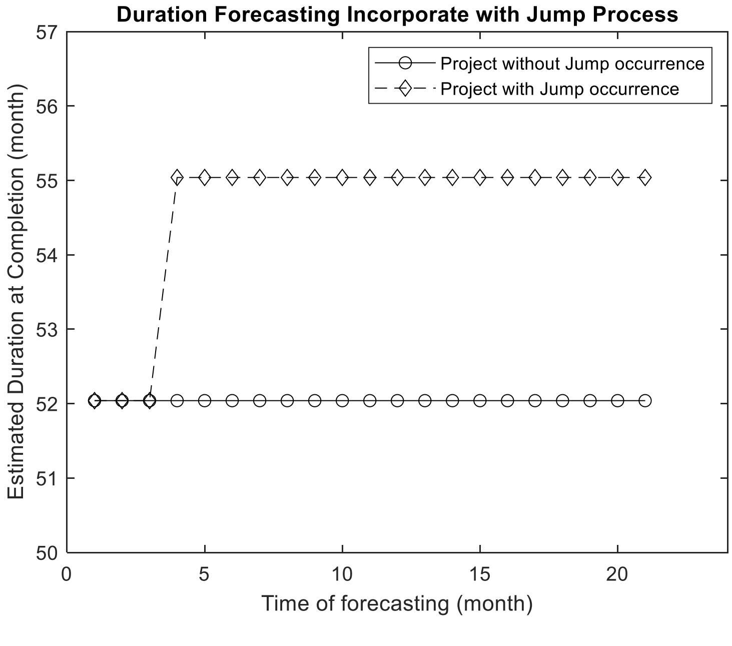
โอกาสในการเกิด Jump ในทุก 1 เดือน ; $\lambda = \frac{1}{20} \times \frac{1}{12} = 4.17 \times 10^{-3}$ ครั้ง/เดือน

$$P(X_J) = P(k, \tau) = \frac{(\lambda\tau)^k \cdot e^{-\lambda\tau}}{k!}$$

$$P(1,1) = \frac{(\lambda) \cdot e^{-\lambda}}{1!}$$

$$P(1,1) = 0.0041$$

เมื่อทำการจำลองโครงการด้วยวิธี Monte Carlo Simulation ด้วย MATLAB ในการจำลอง 10,000 เส้นทาง พบว่ามีเส้นทางที่เกิด Jump ขึ้นทั้งหมด 803 เส้นทาง ผู้วิจัยจะตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางปกติ และเส้นทางที่เกิดเหตุอุทกภัย 2 เส้นทางในภาพที่ 6.12 หมายความว่าหากมีการดำเนินโครงการที่มีลักษณะเดียวกันกับโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูจำนวน 10,000 โครงการ จะพบว่า มี 803 โครงการที่จะต้องประสบอุทกภัยที่มีความรุนแรงเท่ากับที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2554 และในบางโครงการอาจประสบภัยพิบัติมากกว่า 1 ครั้ง




*ภาพที่ 6.12 ผลการจำลองระยะเวลาก่อสร้างเมื่อเกิดอุทกภัยความรุนแรงเทียบเท่าปี พ.ศ. 2554*

จากสถิติดังกล่าวสามารถอนุมานได้ว่านับจากเดือนล่าสุดของการก่อสร้าง โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูมีโอกาสที่จะประสบอุทกภัยความรุนแรงเทียบเท่ากับปี พ.ศ. 2554 ประมาณ 8% ทำให้ระยะเวลาในการก่อสร้างของโครงการเพิ่มขึ้นจากเดิมที่คาดการณ์ไว้เป็นอย่างต่ำ 3 เดือน หากมีการเกิดภัยพิบัติซ้ำซ้อนก็ยิ่งทำให้ระยะเวลาโครงการเพิ่มขึ้น ซึ่งตัวเลขดังกล่าวอาจจะช่วยให้บริษัทประกันมีข้อมูลในการประเมินความเสี่ยงที่ภัยพิบัติจะเกิดกับโครงการในช่วงระยะเวลาที่เหลือของโครงการได้

## 6.5 สรุป

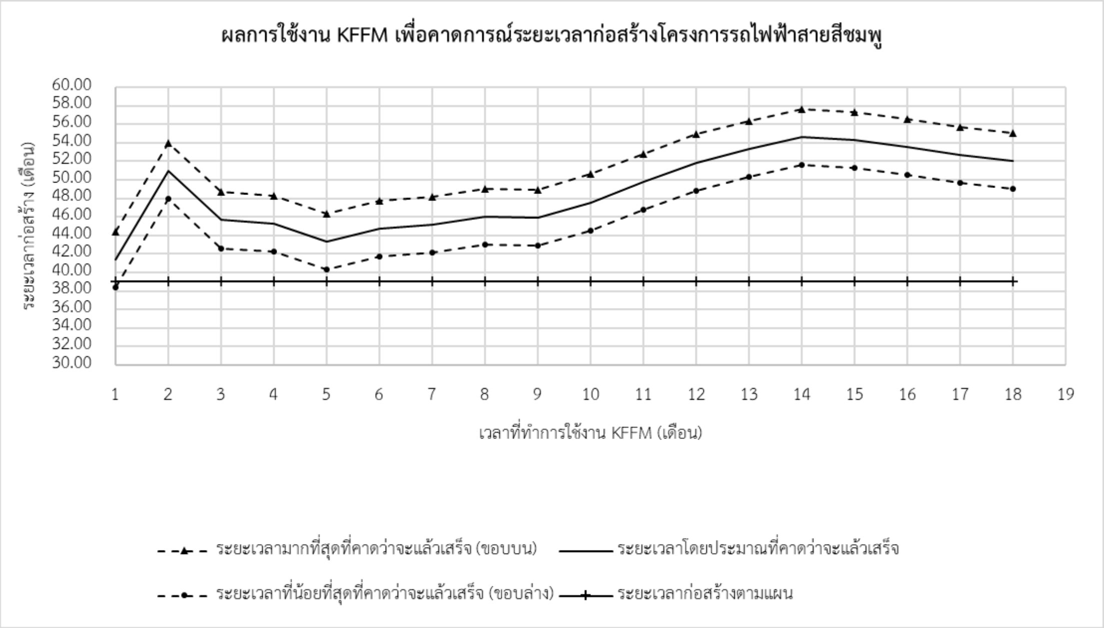
ผลจากการใช้งาน KFFM จะช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการทราบถึงระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ โดยใช้ปริมาณความคืบหน้าของโครงการเป็นข้อมูลในการคำนวณ

เพื่อที่จะใช้งาน KFFM สำหรับโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู จำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลเบื้องต้นจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์ ดร.ประสิทธิพนธ์ โสวาปี ผู้จัดการโครงการ ด้านงานโยธา เพื่อเก็บขอมูลที่จำเป็นโดยได้ความว่า สำหรับโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูหากทุกอย่างเป็นไปตามแผนจะสามารถเร่งการก่อสร้างได้เร็วกว่าที่วางแผนไว้ 3 เดือน แต่ในขณะเดียวกันโครงการก็สามารถก่อสร้างล่าช้าไปจากแผนการถึง 8 เดือน เนื่องจากปัจจัยภายนอกต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ในส่วนของการรายงานความคืบหน้าโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู มีการวัดผลความคืบหน้าเป็นปริมาณงานที่สำเร็จแล้ว ทำให้ไม่มีความผิดพลาดในการวัดเกิดขึ้น เมื่อได้ข้อมูลที่ต้องการครบแล้ว สามารถสรุปข้อมูลได้ดังตารางต่อไปนี้

| ชื่อของตัวแปร | ค่าของตัวแปร |
|---|---|
| Initial State Vector | $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ |
| Initial error covariance matrix | $P_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ |
| Transition matrix | $A = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ |
| Process noise covariance matrix | $Q_k = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 3.38 \end{bmatrix}$ |
| Vector of Random Measurement | $v_k = 0$ |
| Observation Matrix | $H = [1 \quad 0]$ |
| Measurement error covariance matrix | $R = [0]$ |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อทำการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างของ โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูด้วย KFFM พบว่าระยะเวลาก่อสร้างโดยประมาณของโครงการนั้นมีค่ามากกว่าระยะเวลาก่อสร้างตามแผนที่เท่ากับระยะเวลาสัญญา 39 เดือน ในทุกครั้งที่ทำการคาดการณ์ (ภาพที่ 6.3) หมายความว่าโครงการมีแนวโน้มสูงที่จะไม่สามารถก่อสร้างได้ทันตามที่ระบุไว้ในสัญญา




*ภาพที่ 6.3 ผลการใช้งาน KFFM เพื่อคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู*

ต่อมาเมื่อนำระยะเวลาที่คาดการณ์จาก KFFM มาวิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูจะก่อสร้างได้เสร็จทันระยะเวลาสัญญา (ภาพที่ 6.3) พบว่าเมื่อเริ่มใช้งาน KFFM ครั้งที่ 1 โครงการมีโอกาส 10 % ที่จะก่อสร้างได้เสร็จทันระยะเวลาสัญญา ต่อมาในเดือนถัด ๆ ไป ผลการวิเคราะห์ยิ่งแสดงให้เห็นว่าโครงการไม่มีโอกาสที่จะสำเร็จทันเวลา ดังนั้น ณ เวลานี้ผู้บริหารโครงการควรต้องปรับกลยุทธ์ในการบริหาร หรือหามาตรการเพื่อจัดการกับความล่าช้าที่เกิดขึ้น

หลังจากที่ทำการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วย KFFM แล้ว ระยะเวลาที่คาดการณ์จะถูกนำไปใช้สำหรับการประเมินผลกระทบจากความล่าช้าในการก่อสร้างต่อผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ โดยในที่จะแบ่งออกเป็น 2 ฝ่ายคือ (1) ฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทาน (NBM) และ (2) ภาครัฐ (รฟม.) ร่วมกับประชาชน

จากการสัมภาษณ์ถึงการเกิดผลกระทบต่อโครงการจากทั้ง 2 ฝ่าย โดยเริ่มจากฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทาน (NBM) ผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์ ดร.ประสิทธิพนธ์ โสวาปี ผู้จัดการโครงการ ด้านงาน

โยธา จากการสัมภาษณ์ทำให้ทราบถึงมูลค่าต่าง ๆ ที่เป็นตัวแปรสำหรับการคำนวณในแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์และได้ข้อสรุปว่าหากโครงการเกิดความล่าช้าในก่อสร้างจะส่งผลกระทบต่อผู้รับสัมปทานวันละ 13,421,111 บาท

ในส่วนของความเสียของฝ่ายภาครัฐร่วมกับประชาชน ผู้ที่ให้สัมภาษณ์คือคุณปกรณ์ เกตุแย้ม หัวหน้าแผนกการวางแผนโครงการ ซึ่งได้ความว่ามูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับฝ่ายภาครัฐร่วมกับประชาชนมีมูลค่าวันละ 20,983,283.66 บาท

เมื่อนำระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้จาก KFFM มาทำการคำนวณผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต พบว่ามูลค่าของผลกระทบที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มที่จะแปรผันไปตามระยะเวลาก่อสร้าง (ภาพที่ 6.7)

เมื่อการก่อสร้างผ่านไป 18 เดือน ผลจากการประเมินมูลค่ากระทบทำให้ทราบว่าฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทาน (NBM) อาจต้องเผชิญกับมูลค่าความเสียหายตั้งแต่ 990 ล้านบาทขึ้นไป (ภาพที่ 6.10) ในขณะเดียวกันความล่าช้าในการก่อสร้างที่เกิดขึ้นก็ส่งผลต่อฝ่ายภาครัฐและประชาชนเป็นมูลค่าตั้งแต่ 1,500 ล้านบาท (ภาพที่ 6.11) ความล่าช้าในการก่อสร้างที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบอย่างรุนแรง แต่ถ้าหากโครงการเสร็จเร็วกว่ากำหนดก็จะช่วยให้ฝ่ายต่าง ๆ ประหยัดงบประมาณหรือได้ผลตอบแทนกลับคืนมากขึ้นเช่นกัน

ผลการคาดการณ์ระยะเวลาที่ได้จาก KFFM ยังสามารถนำมาประยุกต์ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่โครงการจะประสบภัยพิบัติ ซึ่งจะส่งผลให้การก่อสร้างของโครงการในระยะเวลาเหลือล่าช้าเข้ามาในการวิเคราะห์ ซึ่งมีแนวคิดคือ หลังจากการใช้งาน KFFM ครั้งล่าสุดผู้รับเหมายังคงทำงานต่อด้วยประสิทธิผลเท่าเดิมทำให้คาดการณ์ว่าโครงการจะใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างเท่ากับผลการคาดการณ์ระยะเวลาจาก KFFM ครั้งล่าสุด และเมื่อโครงการดำเนินต่อไป แล้วเกิดภัยพิบัติหรือเหตุสุดวิสัยที่ทำให้โครงการต้องหยุดการทำงาน จะทำให้ระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้จาก KFFM เพิ่มขึ้น ซึ่งการหยุดการทำงานดังกล่าวเป็นสิ่งที่ก่อให้เกิด Jump นั่นเอง

จะเห็นได้ว่าการใช้งาน KFFM มีประโยชน์อย่างมากในการบริหารโครงการ รวมไปถึงเป็นเครื่องมือเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ความเสี่ยงอีกด้วย

# บทที่ 7
# สรุปงานวิจัย และข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์เรื่อง การประเมินความเสี่ยงและผลกระทบต่อผู้ที่เกี่ยวข้องจากความล่าช้าในการก่อสร้างของโครงการร่วมทุนระหว่างรัฐและเอกชน ด้วยวิธี Kalman Filter Forecasting Method มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาและวิเคราะห์ความเสี่ยงด้านการแล้วเสร็จของโครงการก่อสร้างของโครงการโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นการร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชน ด้วยวิธี Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) และเพื่อประเมินมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความล่าช้าในการก่อสร้างต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 3 ฝ่ายประกอบด้วย (1) เอกชนผู้รับสัมปทาน (2) ภาครัฐเจ้าของสัมปทาน และ (3) ประชาชน

## 7.1 สรุปงานวิจัย

Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) เป็นเครื่องมือสำหรับคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างและสามารถใช้ในการประเมินความเสี่ยงที่โครงการจะเกิดความล่าช้าในการก่อสร้างได้ โดย KFFM เป็นเครื่องมือที่ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาได้ไม่นาน และยังไม่เป็นที่รู้จักในวงกว้าง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบการใช้งาน KFFM ก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการโครงสร้างพื้นฐานที่กำลังอยู่ในระหว่างการก่อสร้าง

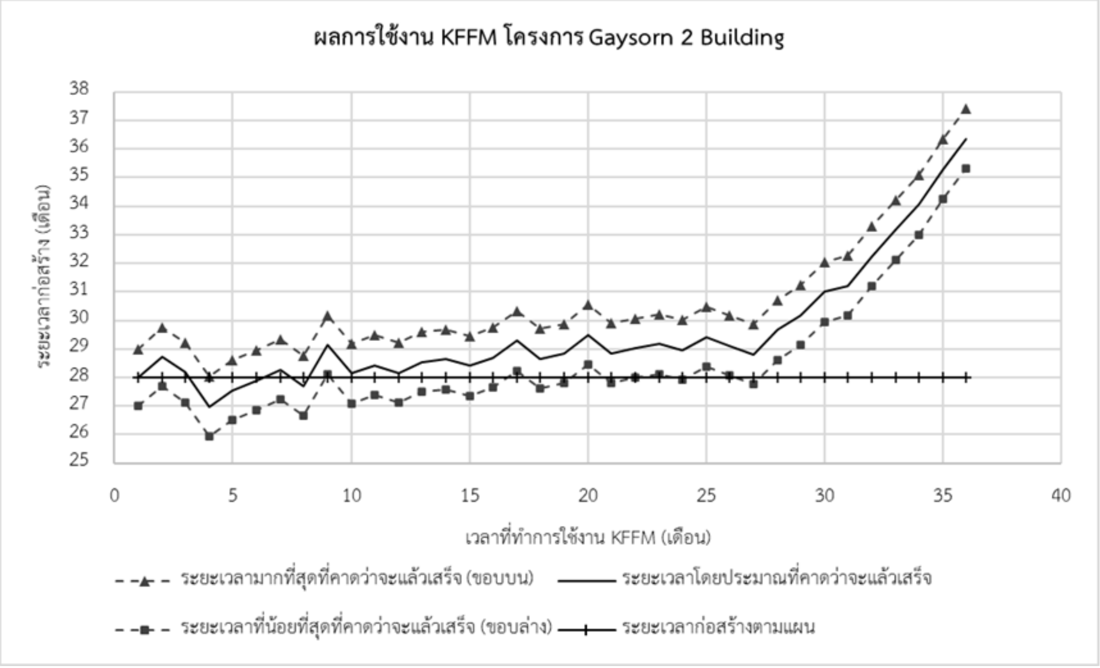
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การทดลองใช้งาน KFFM สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ (1) การทดลองเปรียบเทียบผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างของโครงการจำลองด้วย KFFM ระหว่างผู้วิจัยกับของ Abdel Azeem et al. (2014) และ (2) การทดลองใช้งานกับโครงการ Gaysorn 2 ซึ่งเป็นโครงการที่ก่อสร้างเสร็จและทำการส่งมอบแล้ว

การทดลองเปรียบเทียบผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้าง ( $EDAC_k$ ) และค่าความแปรปรวน ( $\sigma_k^2$ ) ของโครงการจำลองด้วย KFFM ระหว่างผู้วิจัยกับของ Abdel Azeem et al. (2014) พบว่าผลที่ได้จากการใช้งาน KFFM ของผู้วิจัย มีความแตกต่างจากของ Abdel Azeem et al. (2014) ประมาณร้อยละ 1 - 6 ทั้งนี้เป็นเพราะการที่ผู้วิจัยได้กำหนดให้ค่าตัวแปรสุ่มของความผิดพลาดในการวัด $v_k = 0$ เพื่อควบคุมให้ผลการคาดการณ์ในครั้งที่ $k$ มีค่าเท่ากันทุกครั้ง เพราะ

การคำนวณไม่ได้รับผลของตัวแปรสุ่ม $v_k$ อย่างไรก็ตามในการใช้งานกับโครงการจริงผู้ใช้งานควรรวมตัวแปรสุ่ม $v_k$ เข้าไปในการใช้งานด้วย

ต่อมาเป็นการทดลองใช้งานกับโครงการ Gaysorn 2 Building ซึ่งเป็นโครงการที่ก่อสร้างเสร็จและทำการส่งมอบแล้วเพื่อทดสอบความแม่นยำในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วย KFFM เมื่อวิเคราะห์ผลที่ได้จากการใช้งาน KFFM พบว่าในช่วงระยะแรกโครงการมีแนวโน้มสูงที่จะก่อสร้างได้สำเร็จตามแผนเนื่องจากผลความหน้าคืบของโครงการเป็นไปตามแผน ต่อมาผลจากการใช้งาน KFFM เริ่มแสดงให้เห็นถึงโอกาสที่โครงการจะเกิดความล่าช้า ซึ่งระยะเวลาที่คาดการณ์ได้นั้นระบุว่าโครงการมีแนวโน้มที่จะล่าช้าไปจากแผนประมาณ 1 เดือน และในช่วงที่โครงการดำเนินการก่อสร้างจนใกล้ระยะเวลาตามแผน ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วย KFFM มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากโครงการประสบปัญหาที่ไม่สามารถดำเนินกิจกรรมก่อสร้างบางกิจกรรมได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้าง ทำให้โครงการมีความคืบหน้าต่ำจนทำให้โครงการเกิดความล่าช้าไปจากแผนเป็นระยะเวลานาน (ภาพที่ 4.5)

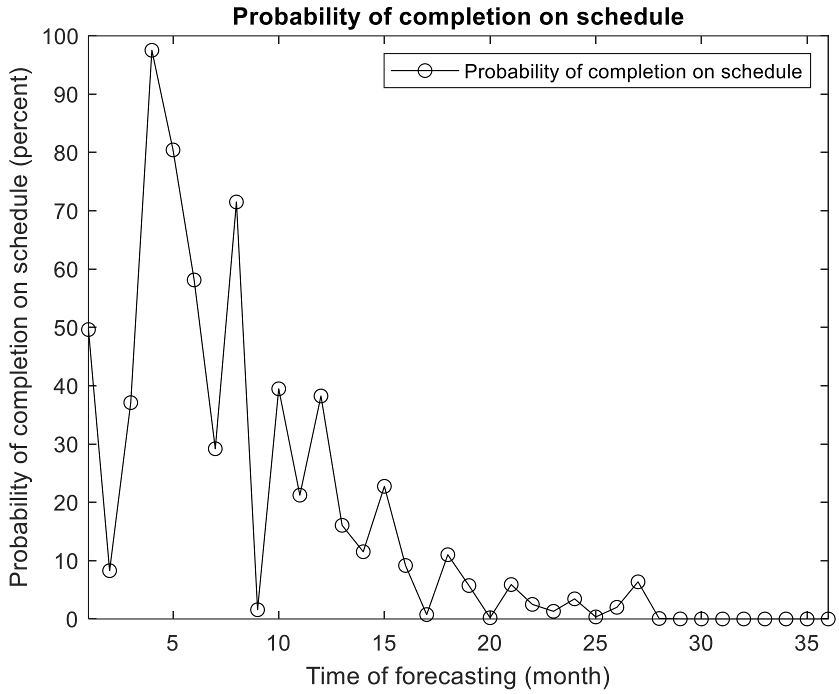



*ภาพที่ 4.5 สรุปผลการใช้งาน KFFM โครงการ Gaysorn 2 Building*

จะเห็นได้ว่าผลการคาดการณ์ด้วย KFFM อาจมีความคลาดเคลื่อนไปจากระยะเวลาก่อสร้างที่ใช้จริง เนื่องจากพฤติกรรมในการคาดการณ์ของ KFFM ที่อ้างอิงโดยการเปรียบเทียบความคืบหน้าตามแผนและความคืบหน้าที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งในระยะแรกโครงการมีความล่าช้าไปจากแผนประมาณ

ร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 8 เท่านั้น แต่ในระยะหลังโครงการประสบปัญหาที่ทำผู้รับเหมาไม่สามารถดำเนินงานบางประเภทได้จึงทำให้โครงการล่าช้าออกไปมากกว่าที่จะเป็น

ประโยชน์ของการใช้งาน KFFM ยังช่วยให้ผู้รับสัมปทานและภาครัฐเจ้าของโครงการสามารถมองเห็นถึงแนวโน้มที่โครงการจะก่อสร้างได้เสร็จภายในระยะเวลาสัญญา (ภาพที่ 4.6) จากภาพแสดงให้เห็นว่าโครงการมีแนวโน้มที่จะก่อสร้างได้เสร็จทันเวลาลดลง ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวกับโครงการตระหนักถึงความล่าช้าที่อาจเกิดขึ้นและทำการวางแผนหรือปรับกลยุทธ์ในการบริหารโครงเพื่อให้โครงการก่อสร้างได้ทันเวลา หรือลดโอกาสที่โครงการจะเกิดความล่าช้าได้มากที่สุด




*ภาพที่ 6.8 โอกาสที่โครงการ Gaysorn 2 จะสำเร็จภายในระยะเวลาสัญญา*

จากการศึกษาการใช้งาน Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) มีข้อดี สิ่งที่ต้องคำนึง และข้อจำกัดดังนี้

1) ข้อดีของ Kalman Filter Forecasting Method (KFFM)

(1) KFFM มีลักษณะเป็น Probabilistic Estimation ที่ให้ผลการคำนวณเป็นแบบ Normal Distribution ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานสามารถประเมินถึงโอกาสที่โครงการจะก่อสร้างไม่ทันตามแผนได้

(2) ผู้ใช้งาน KFFM ไม่จำเป็นต้องทราบถึงรายละเอียดของแต่ละกิจกรรม เนื่องจาก KFFM มุ่งเน้นไปที่การใช้ข้อมูลความคืบหน้าของโครงการจาก S-curve เท่านั้น

(3) KFFM จะมีการปรับปรุงระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้ รวมไปถึงมีอัพเดทส่วนเบี่ยงมาตรฐานของระยะเวลาก่อสร้างเสมอ

2) สิ่งที่ต้องคำนึงเมื่อใช้งาน Kalman Filter Forecasting Method (KFFM)

(1) ข้อมูลจาก KFFM จะมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นไปตามจำนวนครั้งที่ทำการใช้งาน ดังนั้นผู้ใช้จึงควรใช้ดุลยพินิจในการเลือกที่จะเชื่อข้อมูลในช่วงต้นของโครงการ

(2) ข้อมูลบางประเภท ได้แก่ Measurement error ($R$) และ ส่วนเบี่ยงมาตรฐานของระยะเวลาก่อสร้าง ($\sigma_T$) ในกรณีที่ไม่สามารถหาปริมาณได้ด้วยการคำนวณ ให้ผู้ใช้งานใช้วิจารณญาณในการประเมินโดยลดความลำเอียงของข้อมูลให้มากที่สุด เพื่อป้องไม่ให้การคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างและประเมินความเสี่ยงที่โครงการจะเกิดความล่าช้าด้วย KFFM ได้รับอิทธิพลจากข้อมูลที่ไม่เป็นกลาง

3) ข้อจำกัดในการใช้งาน Kalman Filter Forecasting Method (KFFM)

(1) การคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างโดยใช้หน่วย “เดือน” ในโครงการจริงอาจมีความไม่สอดคล้องของ Level of Detail เกิดขึ้น เพราะแต่ละเดือนจะมีระยะเวลาไม่เท่ากัน หากต้องการความละเอียด ควรคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างในหน่วย “สัปดาห์” โดยใช้ข้อมูลการรายงานผลการดำเนินงานรายสัปดาห์ เพื่อเพิ่มความละเอียดของข้อมูลและสร้างความสอดคล้องของ Level of Detail

(2) ระยะเวลาก่อสร้างที่ได้จากการใช้งาน KFFM เป็นเพียงการคาดการณ์ถึงระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้เท่านั้น ไม่ใช่ระยะเวลาก่อสร้างที่จะใช้ก่อสร้างจนแล้วเสร็จตามจริง

(3) ทฤษฎีของ KFFM ค่อนข้างมีความซับซ้อน และต้องใช้เวลาในการทำความเข้าใจ จึงอาจไม่เหมาะกับผู้ที่ไม่มีเวลาศึกษา

ด้วยคุณสมบัติของ KFFM ซึ่งมีลักษณะเป็นเครื่องมือแบบ dynamic monitoring tool ที่สามารถคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างแบบ probabilistic estimation และมีการอัพเดทส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทุกครั้งที่ทำการใช้ตลอดช่วงการดำเนินการก่อสร้าง ทำให้ผู้ใช้งาน เช่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทาน และภาครัฐเจ้าของโครงการสามารถคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างและประเมินโอกาสที่โครงการไม่สามารถก่อสร้างได้ทันเวลาในระหว่างที่มีการดำเนินโครงการ รวมไปถึงใช้ในการคาดการณ์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นเมื่อโครงการล่าช้าอีกด้วย

เพื่อที่จะประเมินมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความล่าช้าในการก่อสร้างต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 3 ฝ่าย อันประกอบด้วย (1) เอกชนผู้รับสัมปทาน (2) ภาครัฐเจ้าของสัมปทาน และ (3) ประชาชน จำเป็นที่ต้องมีการพัฒนาตัวแบบผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ที่เกิดจากความล่าช้าในการก่อสร้าง ซึ่งจากขอบเขตการศึกษาตัวแบบที่พัฒนาขึ้นจะเป็นตัวแบบที่ใช้กับโครงการรถไฟฟ้าเป็นหลัก

สำหรับการพัฒนาตัวแบบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความล่าช้า ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาจากงานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาเป็นแนวคิดในการกำหนดรายการความเสียหายที่เกิดขึ้นรวมไปถึงเพื่อการนำเสนอตัวแบบสำหรับประเมินผลกระทบด้วย ซึ่งจากการศึกษาสามารถกำหนดรายการความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

1) ผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง

(1) ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านการบริหารจัดการโครงการ

(1.1) ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร ( $SD$ )

(1.2) ค่าโสหุ้ย หรือ Overhead Expense ( $DAOH$ )

(1.3) ค่าใช้จ่ายด้านการขยายระยะเวลาประกันที่ยืดออกไป ( $IED$ )

(1.4) ค่าใช้จ่ายจากการขยายเวลาว่าจ้างที่ปรึกษา ( $CF$ )

(2) ผลกระทบต่อการสูญเสียการใช้ประโยชน์

(2.1) ผลกระทบต่อรายได้จากค่าโดยสาร ( $SI$ )

(2.2) ผลกระทบต่อรายได้เชิงพาณิชย์ ( $DUV$ )

(3) ผลกระทบทางด้านการเงิน

(3.1) ดอกเบี้ยการผิดนัดชำระหนี้ ( $DI$ )

(3.2) ความเสียหายจากอัตราดอกเบี้ยที่เพิ่มขึ้น ( $INC$ )

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) ผลกระทบในเชิงเศรษฐศาสตร์

(1) ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่ประหยัดได้

(1.1) ค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยาน ( $VOC_{Loss}$ )

(1.2) มูลค่าเวลาของผู้ใช้รถ ( $VOT_{Loss}$ )

(1.3) ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุ ( $AC$ )

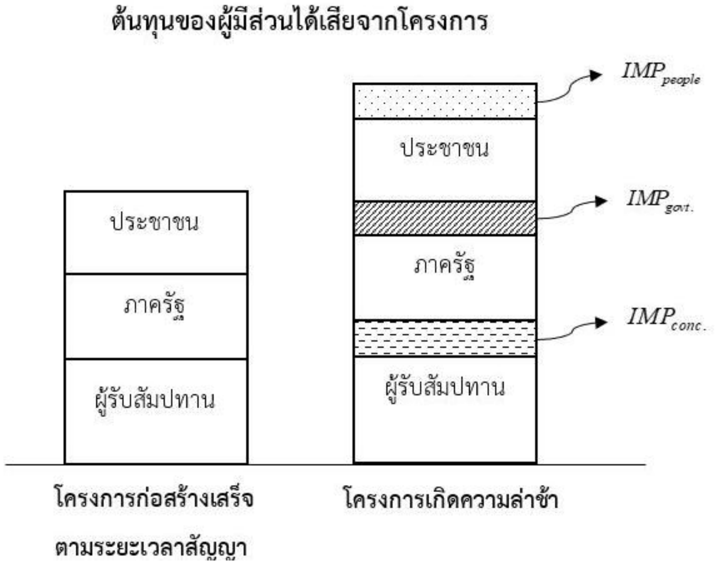
(2) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

(2.1) ต้นทุนค่ากำจัดมลภาวะทางอากาศจากการใช้ยานพาหนะ ( $EC_{Loss}$ )

หลังจากกำหนดรายการผลกระทบที่เกิดอาจเกิดขึ้นแล้ว จะเป็นการจำแนกรายการผลกระทบจากความล่าช้าที่เกิดขึ้นกับแต่ละผู้มีส่วนได้เสีย ซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำคัญของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

เมื่ออ้างถึงสมมติฐานของงานวิจัยที่กล่าวว่า ความล่าในการก่อสร้างโครงการโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นการร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชน สามารถส่งผลกระทบต่อเอกชนผู้รับสัมปทาน ภาครัฐเจ้าของโครงการ และประชาชนได้ ซึ่งผู้วิจัยได้นำสมมติฐานดังกล่าวมาเป็นพื้นฐานของแนวคิดว่า ความล่าช้าในการก่อสร้างที่เกิดขึ้นก่อให้เกิดผลกระทบทางภาระค่าใช้จ่ายมากกว่าที่ควรจะเป็น รวมไปถึงการสูญเสียโอกาสในการสร้างรายได้จากโครงการด้วย ซึ่งสามารถสรุปเป็นแผนภาพได้ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




*ภาพที่ 7.1 ต้นทุนของผู้มีส่วนได้เสียจากโครงการ*

จากภาพที่ 7.1 จะเห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบภาระต้นทุนของผู้มีส่วนได้เสียระหว่างโครงการที่ก่อสร้างเสร็จตามระยะเวลาสัญญา และโครงการที่เกิดความล่าช้าจะพบว่าโครงการที่เกิดความล่าช้ามีภาระต้นทุนเพิ่มขึ้นนับเป็นผลกระทบจากความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการโครงสร้างพื้นฐาน เมื่อทำการแจกจ่ายรายการผลกระทบที่เกิดขึ้นกับแต่ละผู้มีส่วนได้เสียแล้ว สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ผลกระทบจากความล่าช้าที่เกิดขึ้นกับเอกชนผู้รับสัมปทาน ( $IMP_{conc.}$ )

$$IMP_{conc.} = SD + DAOH + IED + CF + SI + DUV + DI + INC \qquad (5.31)$$

2) ผลกระทบจากความล่าช้าที่เกิดขึ้นกับภาครัฐเจ้าของโครงการ ( $IMP_{govt.}$ )

$$IMP_{govt.} = SD + DAOH + IED + DI + INC + CF + VOC_{Loss} + VOT_{Loss} + AC + EC_{Loss} \qquad (5.32)$$

3) ผลกระทบจากความล่าช้าที่เกิดขึ้นกับประชาชน ( $IMP_{people}$ )

$$IMP_{people} = VOC_{Loss} + VOT_{Loss} + AC + EC_{Loss} \qquad (5.33)$$

ทั้งนี้เนื่องจากในการพัฒนาโครงการโครงสร้างพื้นฐานภาครัฐเปรียบเสมือนตัวแทนของประชาชนเนื่องจากมีการใช้ภาษีของประชาชนในการดำเนินโครงการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าผู้ประเมินสามารถประเมินมูลค่าผลกระทบของฝ่ายภาครัฐและประชาชนร่วมกันได้ ดังนั้นจึงได้สร้างตัวแบบที่เหมาะสมกับบริบทดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) ผลกระทบจากความล่าช้าที่ภาครัฐรับความเสียหายร่วมกับประชาชน ( $IMP_{govt+ppl}$ )

CHULALONGKORN UNIVERSITY

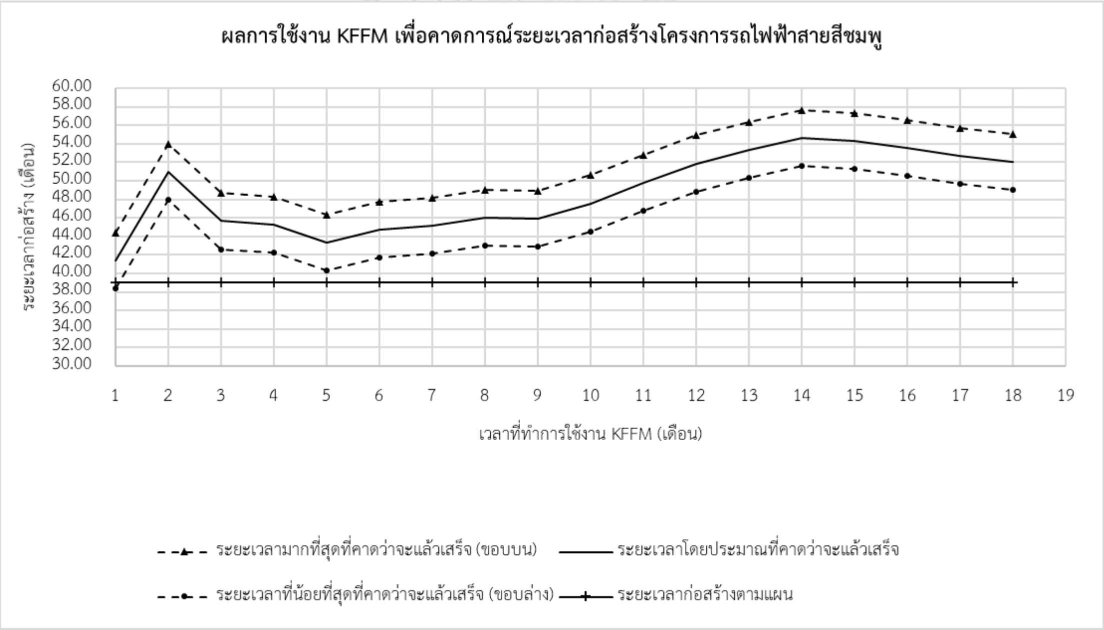
$$IMP_{govt+ppl} = SD + DAOH + IED + DI + INC + CF + VOC_{Loss} + VOT_{Loss} + AC + EC_{Loss} \qquad (5.34)$$

ทั้งนี้ตัวแปรในสมการที่ 5.31 ถึง สมการที่ 5.34 สามารถดูได้ในหน้าที่ 155

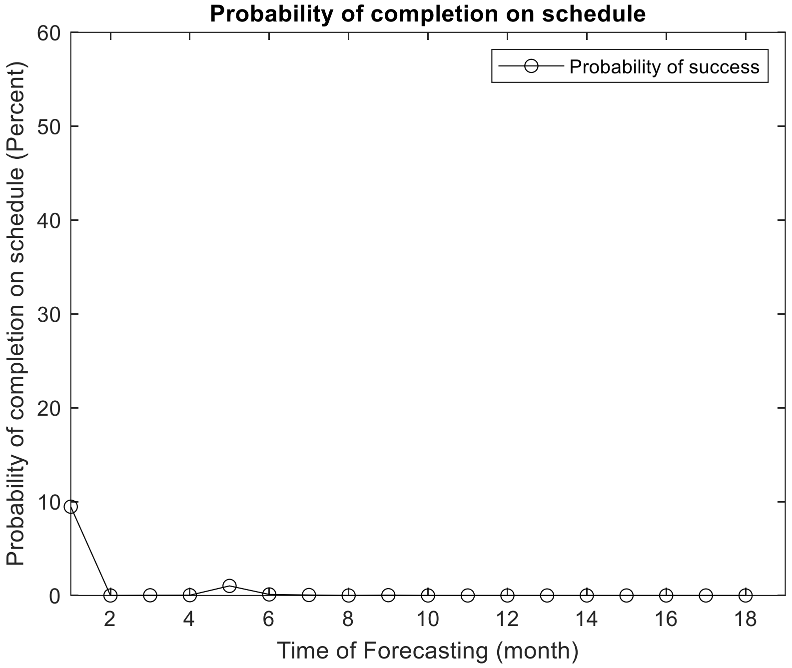
และตามเป็นการประยุกต์ใช้ Kalman Filter Forecasting Method (KFFM) กับโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู โดยเป็นการนำ KFFM มาใช้ในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างและนำระยะเวลาดังกล่าวมาประเมินมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้มีส่วนได้เสียของโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู ซึ่งเป็นโครงการร่วมลงทุนระหว่าง NBM (เอกชนผู้รับสัมปทาน) และ รฟม. (ภาครัฐเจ้าของโครงการ) และเป็นโครงการที่กำลังอยู่ในระหว่างการก่อสร้าง

จากการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างของโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูด้วย KFFM พบว่าในแต่ละครั้ง ( $k$ ) ที่ทำการคาดการณ์ ผลของระยะเวลาที่คาดการณ์ได้ ( $EDAC_k$ ) มีค่ามากกว่าระยะเวลาตามแผนซึ่งแสดงให้เห็นว่าโครงการอาจจะมีการล่าช้าเกิดขึ้น (ภาพที่ 6.2)

เมื่อนำ $EDAC_k$ และค่าความแปรปรวน $\sigma_k^2$ อันเป็นผลที่ได้จากการใช้งาน KFFM มาวิเคราะห์ถึงโอกาสที่โครงการจะก่อสร้างได้เสร็จทันระยะเวลาสัญญา ผลการวิเคราะห์บ่งชี้ว่าโครงการมีแนวโน้มที่จะก่อสร้างได้ทันต่ำมากจากภาพที่ 6.2 ที่ในเดือนที่ 1 ที่โครงการมีโอกาสที่จะก่อสร้างได้ทันเวลาเป็น 10% และลดลงอย่างมีนัยสำคัญตลอดโครงการ การที่ผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการเห็นแนวโน้มที่โครงการจะก่อสร้างไม่เสร็จทันเวลาจะช่วยให้มีการวางแผนรับมือได้ โดยในปัจจุบันทาง NBM เล็งเห็นถึงปัญหาความล่าช้าจึงได้ขอขยายระยะเวลาสัญญาในช่วงการก่อสร้างเป็นเวลา 365 วัน




*ภาพที่ 6.2 ผลการใช้งาน KFFM เพื่อคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู*

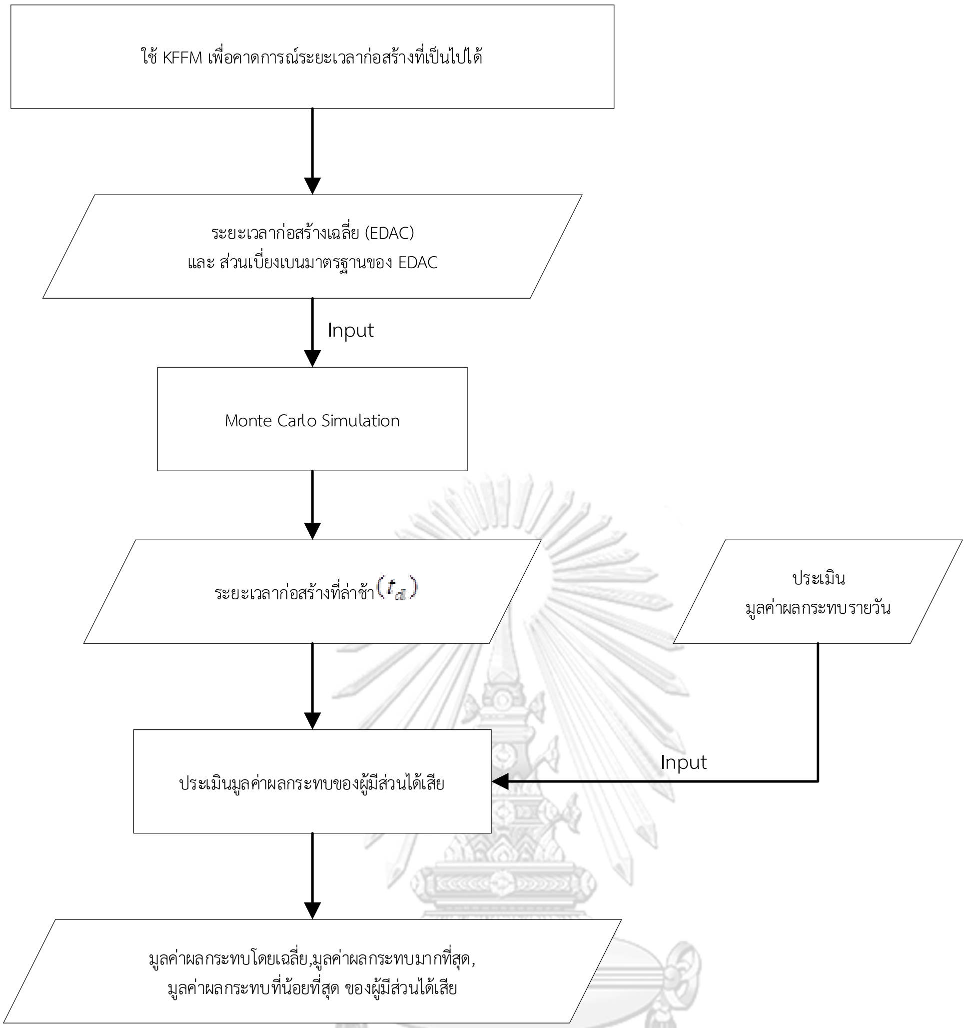



*ภาพที่ 6.3 โอกาสที่โครงการสามารถเสร็จก่อนระยะเวลาตามแผน*

ในขณะเดียวกันผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูเพื่อที่จะนำข้อมูลประเมินมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแต่ละผู้มีส่วนได้เสีย อันประกอบไปด้วย (1) เอกชนผู้รับสัมปทาน (NBM) และ (2) ภาครัฐ (รฟม.) ร่วมกับประชาชน (ส่วนของรายการผลกระทบที่เกิดขึ้นรวมไปถึงมูลค่าผลกระทบรายวันของแต่ละรายผู้อ่านสามารถดูรายละเอียดได้ในบทที่ 6) ผลจากการสัมภาษณ์ ทำให้ผู้วิจัยสามารถคำนวณมูลค่าผลกระทบจากความล่าช้าที่เกิดขึ้นต่อเอกชนผู้รับสัมปทาน (NBM) รายวัน ได้เป็นมูลค่าเท่ากับ 13,421,111 บาทต่อวัน และมูลค่าผลกระทบจากความล่าช้าที่เกิดขึ้นต่อภาครัฐ (รฟม.) ร่วมกับประชาชนรายวันมีมูลค่าเท่ากับ 20,983,283.66 บาทต่อวัน

หากทราบมูลค่าผลกระทบรายวันแล้วสามารถคาดการณ์มูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นในอนาคตสามารถทำได้ตาม Flowchart ต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

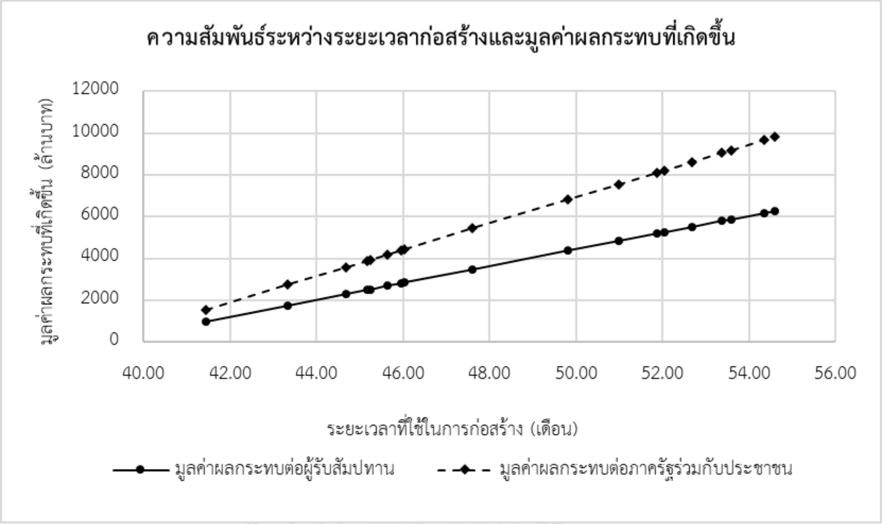



*ภาพที่ 6.4 Flowchart การประเมินมูลค่าผลกระทบจากระยะเวลาก่อสร้าง*

ผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วย KFFM พบว่าโครงการมีระยะเวลาก่อสร้างเฉลี่ย (EDAC) ที่คาดการณ์ได้ประมาณ 41.5 เดือน ถึง 54.5 เดือน ซึ่งระยะเวลาก่อสร้างดังกล่าวเป็นข้อบ่งชี้ว่าโครงการจะเกิดความล่าช้า เนื่องจากภายในสัญญาร่วมลงทุนกำหนดให้ สัญญาระยะที่ 1 ช่วงการก่อสร้างงานโยธามีระยะเวลา 39 เดือน เมื่อนำผลระยะเวลาที่คาดการณ์ได้มาประกอบการประเมินมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อผู้รับสัมปทาน (NBM) และภาครัฐ (รฟม.)ร่วมกับประชาชน พบว่าทั้ง 2 ฝ่ายอาจได้รับผลกระทบจากความล่าช้าเป็นมูลค่าตั้งแต่ 980 ล้านบาท โดมูลค่าผลกระกระทบดังกล่าวนับเป็นความเสียหายจำนวนมาก

ทั้งนี้เมื่อนำมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความล่าช้าในการก่อสร้างมาหาความสัมพันธ์กับระยะเวลาก่อสร้าง (ภาพที่ 6.6) ผลปรากฏให้เห็นเด่นชัดว่าเมื่อระยะเวลาในการก่อสร้างมากขึ้นจะยิ่งส่งผลกระทบต่อผู้ส่วนได้เสียเป็นมูลค่าที่มากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานของ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ที่ว่า **"ความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการ โครงสร้างพื้นฐานที่เป็นโครงการร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชน (PPP) สามารถส่งผลกระทบเอกชนผู้รับสัมปทาน ภาครัฐเจ้าของโครงการ และประชาชนได้"**




*ภาพที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการก่อสร้างและมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้น*

ประโยชน์ของผลลัพธ์ระยะเวลาที่ได้จากการคาดการณ์ด้วย KFFM นอกจากจะสามารถนำมาใช้ในการคาดการณ์มูลค่าผลกระทบแล้ว ยังสามารถนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปใช้ในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างแบบ Stochastic โดยการใช้ Monte Carlo Simulation ได้อีกด้วย เนื่องจากผลลัพธ์ของ KFFM สามารถแปรความหมายออกมาในรูปของตัวแปรสุ่มของระยะเวลาก่อสร้างที่เท่ากับ $X_k \sim N(EDAC_k, \sigma^2_{T_k})$ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้ Jump process ซึ่งเป็น Stochastic Model รูปแบบหนึ่ง ในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างของโครงการที่มีความเสี่ยงที่จะเผชิญเหตุสุดวิสัย ซึ่งในที่นี้ใช้เหตุการณ์มหาอุทกภัย พ.ศ. 2554 ที่สร้างความเสียกับประเทศไทยอย่างรุนแรงเป็นกรณีศึกษา หลังจากการจำลองโครงการพบว่าภายหลังการใช้งาน KFFM ครั้งล่าสุด โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูมีโอกาส 8 % ที่จะประสบอุทกภัยที่มีความรุนแรงเท่ากับปี พ.ศ. 2554

กล่าวโดยสรุป วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นไปที่การใช้ KFFM ในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างและประเมินความเสี่ยงที่โครงการจะเกิดความล่าช้า เสนอแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินผลกระทบจากความล่าช้าในการก่อสร้าง รวมไปถึงการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้งาน KFFM คาดการณ์มูลค่าผลกระทบต่อผู้มีส่วนได้เสียประกอบด้วย (1) เอกชนผู้รับสัมปทาน (2) ภาครัฐเจ้าของ

โครงการ และ (3) ประชาชน จากความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการโครงสร้างพื้นฐาน ประเภทรถไฟฟ้าโดยใช้แบบจำลองที่ได้นำเสนอ

การใช้งาน KFFM ทำให้ทราบถึงระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้ รวมไปถึงการรับรู้ถึงความเสี่ยงที่โครงการไม่สามารถเสร็จได้ทันตามระยะเวลาสัญญา ซึ่งจะช่วยผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการปรับกลยุทธ์ในการจัดการโครงการ รวมไปถึงหาแนวทางในการบริหารสัญญาเพื่อให้โครงการสำเร็จลุล่วง และผลลัพธ์จากการใช้งาน KFFM สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินมูลค่าผลกระทบต่อผู้มีส่วนได้เสียกับโครงการโครงสร้างพื้นฐานได้

ในการเสนอตัวแบบผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ที่เกิดจากความล่าช้าในการก่อสร้าง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทำการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาแนวคิดและสมการต่าง ๆ ได้มาซึ่งตัวแบบสำหรับใช้ประเมินมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้มีส่วนได้เสีย 3 ฝ่าย

เมื่อนำ KFFM มาประยุกต์ใช้กับโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูพบว่าโครงการอยู่ในสภาวะที่กำลังเผชิญความเสี่ยงที่จะไม่สามารถก่อสร้างได้เสร็จตามระยะเวลาสัญญาสูงมาก เป็นการส่อให้เห็นถึงความล่าช้าไปจากระยะเวลาสัญญาที่จะตามมา หากยังดำเนินการก่อสร้างด้วยประสิทธิภาพเท่าเดิม ฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทาน (NBM) อาจได้รับผลกระทบจากความล่าช้าเป็นความเสียหายมูลค่าตั้งแต่ 990 ล้านบาท ในขณะเดียวกันความล่าช้าในการก่อสร้างดังกล่าว ยังส่งผลกระทบต่อภาครัฐเจ้าของโครงการ (รฟม.) ร่วมกับประชาชนเป็นมูลค่าตั้งแต่ 1,500 ล้านบาท ซึ่งมูลค่าผลกระทบดังกล่าวนั้นแปรผันตรงกับระยะเวลาก่อสร้าง

ประโยชน์ของ KFFM นอกจากการนำไปใช้ในการประเมินมูลค่าผลกระทบจากความล่าช้ายังสามารถนำไปใช้ในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างแบบ Stochastic ได้เช่นกัน

### 7.2 ข้อเสนอแนะ

Kalman Filter Forecasting Method เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างมากในการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างและช่วยในการบริหารความเสี่ยงในการก่อสร้างล่าช้า ซึ่งข้อมูลสำคัญที่จำเป็นต่อการใช้งานต้องมีการรวบรวมข้อมูลจากผู้จัดการโครงการ อย่างไรก็ตามข้อมูลบางส่วน เช่น ค่าความแปรปรวนของระยะเวลาโครงการอาจเป็นข้อมูลที่มาจากประสบการณ์หรือวิจารณญาณ (Subjective Information) ของผู้ให้ข้อมูล แต่ในขณะเดียวกันตัวแปรดังกล่าวก็สามารถหาค่าได้จากวิธีการทางเทคนิคได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงแนะนำให้หาค่าของตัวแปรต่าง ๆ ด้วยวิธีการทางเทคนิคหากมีข้อมูลเพียงพอ เพื่อลดการให้ข้อมูลอย่างลำเอียง (bias) ของผู้ให้ข้อมูล

ในส่วนของตัวแบบผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์จากความล่าช้าในการก่อสร้างรถไฟฟ้าต่อผู้มีส่วนได้เสียที่ได้นำเสนอนั้น ผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าจากหลายแหล่งข้อมูลเพื่อหาแนวคิดและสมการต่าง ๆ และสรุปออกมาเป็นตัวแบบที่เหมาะสมกับโครงการรถไฟฟ้า ดังนั้นหากต้องการนำไปใช้กับโครงการอื่นผู้ใช้งานควรเลือกสมการที่เหมาะสมกับบริบทและประเภทของโครงการนั้น ๆ ในการใช้งานจริงหากไม่ใช่บุคลากรของฝ่ายใด อาจเผชิญอุปสรรคเล็กน้อย โดยผู้อ่านจะเห็นได้ว่าเพื่อที่จะประเมินมูลค่าผลทบที่เกิดขึ้นต้องมีการเก็บข้อมูลเป็นปริมาณมากเนื่องจากตัวแบบประกอบไปด้วยสมการและตัวแปรจำนวนมาก อีกทั้งข้อมูลบางส่วนยังเป็นความลับของฝ่ายผู้มีส่วนได้เสียนั้น ๆ ซึ่งไม่เปิดเผยต่อบุคคลภายนอกหรือเปิดเผยให้ผู้ตรวจสอบเห็นอีกด้วย ทำให้มูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นอาจไม่ใช่มูลค่าที่แท้จริง ดังนั้นหากผู้มีส่วนได้เสียกับโครงการนำไปใช้เองจะทำให้มูลค่าผลกระทบที่ประเมินได้มีความถูกต้องแม่นยำและใกล้เคียงมูลค่าที่แท้จริงมากขึ้น

ทั้งนี้มูลค่าผลกระทบที่ได้จากการประยุกต์ KFFM เข้ากับตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ ผู้อ่านจะเห็นว่ามูลค่าผลกระทบในงานวิจัยฉบับนี้หากโครงการก่อสร้างล่าช้ามูลค่าผลกระทบก็จะมีเครื่องหมายบวก (+) และหากโครงการก่อสร้างได้เสร็จก่อระยะเวลาสัญญาก็จะมีเครื่องหมาย (-) โดยเครื่องหมายบวกแทนการเพิ่มขึ้นของผลกระทบ และเครื่องหมายลบแทนลดผลกระทบหรือการช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายนั่นเอง อย่างไรก็ตามมูลค่าการลดผลกระทบหรือการช่วยประหยัดในงานวิจัยฉบับนี้ อาจยังไม่สะท้อนมูลค่าการประหยัดที่แท้จริง เนื่องด้วยตัวแบบผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกิดจากแนวคิดที่มุ่งเน้นไปที่การหามูลค่าผลกระทบจากความล่าช้าในการก่อสร้างเท่านั้น ซึ่งเมื่อพิจารณาความเป็นจริงแล้วไม่ว่าผู้ใดก็ไม่อยากให้โครงการเกิดความล่าช้าและมีความต้องการให้โครงการก่อสร้างให้เสร็จได้เร็วที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ดังนั้นสำหรับงานวิจัยในอนาคตควรมีการหาตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณมูลค่าการประหยัดหรือมูลค่าการลดผลกระทบสำหรับเงื่อนไขกรณีที่สามารถก่อสร้างโครงการได้เสร็จก่อนระยะเวลาสัญญาเพราะจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการที่จะช่วยให้ฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทานได้พิจารณาถึงความคุ้มค่าในการเร่งการก่อสร้างให้เสร็จก่อนกำหนด รวมไปถึงการช่วยให้ฝ่ายภาครัฐเจ้าของโครงการได้พิจารณาถึงนโยบายในการให้สิ่งจูงใจแก่ผู้รับสัมทานเช่นการเพิ่มระยะเวลาสัญญาในช่วงที่ 2 ซึ่งเป็นช่วงการให้บริการเดินรถเป็นต้น

นอกจากนี้งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นไปที่ผลกระทบกับผู้มีส่วนได้เสียจากโครงการโครงสร้างพื้นฐานที่ใช้สัญญาร่วมลงทุน โดยมุ่งไปที่ผู้มีส่วนได้เสียหลัก 3 ฝ่ายเท่านั้น ประกอบด้วย (1) เอกชนผู้รับสัมปทาน (2) ภาครัฐเจ้าของโครงการ และ (3) ประชาชน ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว

โครงการโครงสร้างพื้นฐานเป็นโครงการที่มีผู้ส่วนได้เสียมากกว่า 3 ฝ่ายที่ได้ระบุไว้ ดังเช่น สถาบันการเงินทั้งในและต่างประเทศ ผู้จำหน่ายวัสดุ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นสำหรับงานวิจัยในอนาคตการคำนึงถึงผลกระทบต่อผู้มีส่วนได้เสียอื่น ๆ ในภาพรวมก็นับเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

**7.3 บทส่งท้าย**

โครงการโครงสร้างพื้นฐานเป็นโครงที่ส่งผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของผู้คนมากมายทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรง รวมไปถึงประชาชนที่ไม่ได้อยู่ในพื้นที่เพราะโครงการเหล่านี้มีการใช้ภาษีของประชาชนในการพัฒนาโครงการ ผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการโดยตรงจึงควรเอาใจใส่กับโครงการให้มาก ควรมองให้เห็นถึงโอกาสในการกระจายผลประโยชน์ให้กับทุกฝ่ายได้อย่างทั่วถึง หากเกิดความล่าช้าในการก่อสร้างย่อมส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อผู้มีส่วนได้เสียโดยที่รู้ตัวและไม่รู้ตัว ดังนั้นทุกฝ่ายจึงควรช่วยกันให้โครงการสามารถดำเนินไปได้อย่างรวดเร็วและราบรื่นที่สุดเพื่อประโยชน์ของทุกคนรวมถึงท่านผู้อ่านเช่นกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บรรณานุกรม


Abdel Azeem, S. A., Hosny, H. E., & Ibrahim, A. H. (2014). Forecasting project schedule performance using probabilistic and deterministic models. *HBRC Journal,* 10(1), 35-42. doi:10.1016/j.hbrcj.2013.09.002

Ali, I., & Pernia, E. M. (2003). Infrastructure and poverty reduction-what is the connection?

Anbari, F. T. (2003). Earned value project management method and extensions. *Project management journal,* 34(4), 12-23.

Barraza, G. A., Back, W. E., & Mata, F. (2004). Probabilistic forecasting of project performance using stochastic S curves. *Journal of Construction Engineering and Management,* 130(1), 25-32.

Bing, L., Akintoye, A., Edwards, P. J., & Hardcastle, C. (2005). The allocation of risk in PPP/PFI construction projects in the UK. *International Journal of Project Management,* 23(1), 25-35.

Committee, P. S. (2004). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK Guide). *Project Management Institute, PA, US*.

Cruz, C. O., Kokkaew, N., & Marques, R. C. (2017). Public-Private Partnerships for High-Speed Rail Projects: Portugal and Thailand. In *Advances in Public-Private Partnerships* (pp. 133-145): American Society of Civil Engineers Reston, VA.

Cruz, C. O., & Marques, R. C. (2013). *Infrastructure Public-Private Partnerships_ Decision, Management and Development*: Springer.

Dailami, M., Lipkovich, I., & Dyck, V. J. (1999). *INFRISK: A computer simulation approach to risk management in infrastructure project finance transactions*: The World Bank.

Daniels, G., Ellis, D. R., & Stockton, W. R. (1999). *Techniques for manually estimating road user costs associated with construction projects* (Vol. 3): Texas Transportation Institute College Station, TX.

Engineers, I. o. C. (2009). *Risk Analysis and Management for Projects (RAMP)*: ICE Publishing.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Flanagan, R. (1993). Risk management and construction. *Blackwell Science*.

Fleming, Q., & Koppelman, J. (2006). Start with "Simple" Earned Value... on All Your Projects. *The Measurable News*, 9-14.

Gale, E. L., & Saunders, M. A. (2013). The 2011 Thailand flood: climate causes and return periods. *Weather,* 68(9), 233-237.

Grewal, M. S., & Andrews, A. P. (2010). Applications of Kalman filtering in aerospace 1960 to the present [historical perspectives]. *IEEE Control Systems Magazine,* 30(3), 69-78.

Hasanzadeh, M. R., Shirani, B. A., & Raissi Ardali, G. A. (2016). An Improved Performance Measurement Approach for Knowledge-Based Companies Using Kalman Filter Forecasting Method. *Mathematical Problems in Engineering,* 2016, 1-15. doi:10.1155/2016/4831867

Hassanein, A., & Moselhi, O. (2005). Accelerating linear projects. *Construction Management and Economics,* 23(4), 377-385.

Hegazy, T. (2013). *Computer-based construction project management: Pearson new international edition*: Pearson Higher Ed.

Hoffman, S. L. (2007). *The law and business of international project finance*: Cambridge University Press Cambridge, UK.

Jervis, B. M., & Levin, P. (1988). *Construction law, principles and practice*: McGraw-Hill College.

Kasimu, M. (2012). Significant factors that causes cost overruns in building construction project in Nigeria. *Interdisciplinary journal of contemporary research in business,* 3(11), 775-780.

Kerzner, H. (2001). Strategic planning for project management using a maturity model. *Wiley*.

Kessides Ioannis, N. (2004). Reforming Infrastructure: Privatization, Regulation and Competition. *A World Bank Policy Report. ISBN*-13, 978-0821350706.

Khodakarami, V., Fenton, N., & Neil, M. (2007). Project Scheduling: Improved approach to incorporate uncertainty using Bayesian Networks. *Project Management Journal,* 38(2), 39-49.

Kim, B.-c., & Reinschmidt, K. F. (2009). Probabilistic forecasting of project duration using

Bayesian inference and the beta distribution. *Journal of Construction Engineering and Management,* 135(3), 178-186.

Kim, B.-C., & Reinschmidt, K. F. (2010). Probabilistic forecasting of project duration using Kalman filter and the earned value method. *Journal of Construction Engineering and Management,* 136(8), 834-843.

Kim, B. C. (2007). *Forecasting project progress and early warning of project overruns with probabilistic methods*: Texas A&M University.

Kokkaew, N., & Chiara, N. (2010). Modelling completion risk using stochastic critical path-envelope method: a BOT highway project application. *Construction Management and Economics,* 28(12), 1239-1254.

Kokkaew, N., & Wipulanusat, W. (2014). Completion delay risk management: A dynamic risk insurance approach. *KSCE journal of civil engineering,* 18(6), 1599-1608.

Kraiem, Z. M., & Diekmann, J. E. (1987). Concurrent delays in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management,* 113(4), 591-602.

Le-Hoai, L., Dai Lee, Y., & Lee, J. Y. (2008). Delay and cost overruns in Vietnam large construction projects: A comparison with other selected countries. *KSCE journal of civil engineering,* 12(6), 367-377.

Lipke, W., & Henderson, K. (2006). Earned schedule... an emerging enhancement to EVM.

Lipke, W. H. (2009). *Earned schedule*.

Lukas, J. A. (2012). *How to make earned value work on your project*.

Matthews, J. C., Allouche, E. N., & Sterling, R. L. (2015). Social cost impact assessment of pipeline infrastructure projects. *Environmental Impact Assessment Review,* 50, 196-202.

McCubbin, D. R., & Delucchi, M. A. (1999). The health costs of motor-vehicle-related air pollution. *Journal of Transport Economics and Policy*, 253-286.

McDonald, P. R., & Baldwin, G. C. (1989). *Builder's and Contractor's Handbook of Construction Claims*: Prentice Hall.

Privault, N. (2013). *Stochastic finance: An introduction with market examples*: CRC Press.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Project Alliance. (2560). รายงานประจำเดือน ครั้งที่ 45.

Roe, P., & Craig, A. (2004). *Reforming the private finance initiative*: Centre for Policy Studies London.

SecureNow. (2021). What is Construction All Risk Insurance? Retrieved from https://securenow.in/insuropedia/what-is-construction-all-risk-insurance/.

Sinha, K. C., & Labi, S. (2011). *Transportation decision making: Principles of project evaluation and programming*: John Wiley & Sons.

Smith, N. J., Merna, T., & Jobling, P. (2014). *Managing risk in construction projects*: John Wiley & Sons.

Song, Z., Schunnesson, H., Rinne, M., & Sturgul, J. (2015). An approach to realizing process control for underground mining operations of mobile machines. *PloS one,* 10(6).

Touran, A., Atgun, M., & Bhurisith, I. (2004). Analysis of the United States Department of Transportation prompt pay provisions. *Journal of Construction Engineering and Management,* 130(5), 719-725.

Vanhoucke, M. (2012). *Project management with dynamic scheduling*: Springer.

Vose, D. (2008). *Risk analysis: a quantitative guide*: John Wiley & Sons.

Walter, E. (2008). *Cambridge advanced learner's dictionary*: Cambridge university press.

Weygandt, J. J., Kimmel, P. D., Kieso, D. E., & Aly, I. M. (2018). *Managerial Accounting: Tools for Business Decision-making*: John Wiley & Sons.

Wisniewski, M. (2001). Using SERVQUAL to assess customer satisfaction with public sector services. *Managing Service Quality: An International Journal*.

Wojewnik-Filipkowska, A., & Węgrzyn, J. (2019). Understanding of Public–Private Partnership Stakeholders as a Condition of Sustainable Development. *Sustainability,* 11(4), 1194.

Yescombe, E., & Farquharson, E. (2018). Public-Private Partnerships for Infrastructure. In: UK: Butterworth-Heinemann2018.

Zhu, Y., Ahmad, I., & Wang, L. (2009). Estimating work zone road user cost for alternative contracting methods in highway construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management,* 135(7), 601-608.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กรมบัญชีกลาง. (2563). การประกาศอัตราดอกเบี้ยเงินกู้สำหรับใช้เป็นเกณฑ์ในการคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง และปรับปรุงตาราง Factor F ใหม่.

กฤษฎา แสงเพ็ชร์ส่อง. (2547). แนะนำ Kalman Filter Algorithm. โรงเรียนนายเรือ

การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย. (2560). สัญญาร่วมลงทุนการออกแบบและก่อสร้างงานโยธา การจัดหาระบบไฟฟ้า การให้บริการเดินรถไฟฟ้า และซ่อมบำรุง โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู ช่วงแคราย - มีนบุรี [ออนไลน์], การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย, 2560. แหล่งที่มา: *http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER*6/*DRAWER*004/*GENERAL/DATA*0000/00000612.*PDF*.

การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.). (2560). รายงานการศึกษาทบทวนความเหมาะสมโครงการ (Feasibility Study Review Report) รถไฟฟ้าสายสีชมพู.

จุไรลักษณ์ เอี้ยวพันธ์ และสาวิตรี วาระคำ. (2559). การวิเคราะห์การร่วมทุนระหว่างภาครัฐและภาคเอกชน (Public Private Partnership : PPP). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สำนักงบประมาณของรัฐสภา

ที่ปรึกษา PCPK. (2562). รายงานความก้าวหน้าประจำเดือนธันวาคม 2562.

ไทยรัฐ. (2557). น้ำท่วมใหญ่ปี 54 ฤทธิ์ 'น้องน้ำ' ทำคนไทยจำฝังใจ เพราะ 'เอาไม่อยู่'. หนังสือพิมพ์ไทยรัฐ. Retrieved from https://www.thairath.co.th/content/463577

ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2563). ธปท. ออกแนวปฏิบัติสำคัญเรื่องการชำระหนี้เพื่อลดหนี้เสียและลดภาระหนี้ของประชาชน. ข่าว ธปท.

นพดล จอกแก้ว. (2560). การประมาณต้นทุนงานก่อสร้าง. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บริษัท บีทีเอส กรุ๊ป โฮลดิ้งส์ จำกัด (มหาชน) [BTS]. (2560). รายงายความเห็นของที่ปรึกษาทางการเงินอิสระเกี่ยวกับรายงานได้มาซึ่งสินทรัพย์ของ บริษัท บีทีเอส กรุ๊ป โฮลดิ้งส์ จำกัด (มหาชน).

ปกรณ์ เกตุแย้ม. (2564) สัมภาษณ์.

พันธ์ศักดิ์ ดาวเรือง. (2547). การชดเชยความเสียหายจากความล่าช้าในงานก่อสร้างและแนวทางการประเมินความเสียหาย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไพบูรณ์ วงศ์นิธิสมบูรณ์. (2564) สัมภาษณ์.

มณฑิณี ยิ่งเจริญ. (2553). การกำหนดค่าเสียหายเนื่องจากความล่าช้าสำหรับโครงการก่อสร้างทางขนส่งมวลชน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิศณุ ทรัพย์สมพล. (2542). แบบจำลองการพิจารณาค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน เนื่องจากผลกระทบจากการก่อสร้างโดยวิธีการเช่าพื้นที่ถนน และการประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างของราชการ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Ed.). กรุงเทพมหานครฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศาศวัต ภูริภัสสรกุล. (2542). การประเมินความเสียหายจากความล่าช้าในการก่อสร้าง ที่ส่งผลกระทบต่อผิวจราจร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน). (2554). บันทึกเหตุการณ์มหาอุทกภัยปี 2554. Retrieved from http://tiwrmdev.haii.or.th/current/flood54.html

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ภาคผนวก ก**

**แบบสอบถามสำหรับการเก็บข้อมูลเพื่อใช้งาน Kalman Filter Forecasting Method**

ผู้ให้ข้อมูล ชื่อ............................................. นามสกุล..............................................

ตำแหน่ง.................................... ชื่อโครงการ.........................................

1.ลักษณะเบื้องต้นของโครงการ

..........................................................................................................................................

..........................................................................................................................................

2.ระยะเวลาก่อสร้างโครงการตามแผนงาน ........... เดือน ........... วัน (1 เดือน = 30 วัน)

3.ระยะเวลาก่อสร้างโครงการที่เร็วที่สุด ..... เดือน .... วัน และช้าที่สุดที่เป็นไปได้ .... เดือน .... วัน

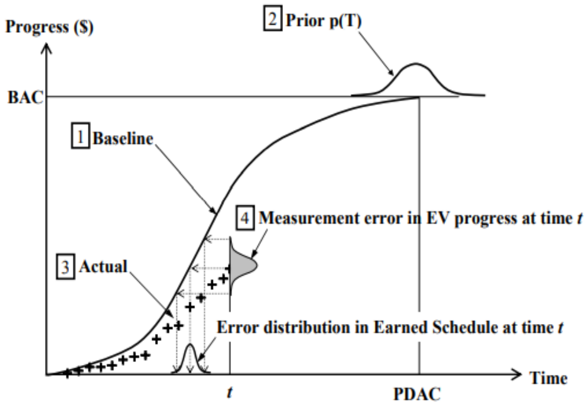
4.ระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างจนแล้วเสร็จ ........... เดือน ........วัน

5.ระยะเวลาระหว่างการรายงานความคืบหน้าแต่ละครั้ง ......... เดือน ........วัน

6.ความคลาดเคลื่อนในการวัด Earned Schedule สูงสุด ± ......... เดือน ........วัน

*หมายเหตุ Earned Schedule คือค่าดัชนีที่บ่งบอกว่า มูลค่างานที่ทำได้จริงเทียบเท่ากับมูลค่างานตามแผน ณ วันที่เท่าไหร่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




*ภาพที่ ก ความคลาดเคลื่อนในการวัด Earned Schedule (ที่มา: Kim and Reinschmidt, 2007)*

## ภาคผนวก ข

## แบบสอบถามเพื่อการประเมินมูลค่าผลกระทบจากความล่าช้าในการก่อสร้างต่อผู้มีส่วนได้เสีย

### 1. แบบสอบถามเพื่อการประเมินมูลค่าผลกระทบจากความล่าช้าในการก่อสร้างต่อเอกชนผู้รับสัมปทาน

การประเมินความเสียหายจากความล่าช้าในการก่อสร้างกรณีโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู

ฝ่ายที่ได้รับกระทบ  ฝ่ายเอกชนผู้รับสัมปทาน

ผู้ให้สัมภาษณ์................................ ตำแหน่ง...........................

| **ผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง** | | |
|---|---|---|
| **รายการผลกระทบ** | **เกิดผลกระทบ** | **ไม่เกิดผลกระทบ** |
| **ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านการบริหารจัดการโครงการ**<br>**1.ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร**<br>บุคลากรโครงการ | | |
| **2.ค่าโสหุ้ย** | | |
| **3.ค่าใช้จ่ายด้านการขยายระยะเวลาประกันที่ยืดออกไป** | | |
| **4.ค่าใช้จ่ายจากการเรียกร้องของที่ปรึกษาโครงการ** | | |
| **ผลกระทบต่อการสูญเสียการใช้ประโยชน์** | | |
| **1.ผลกระทบต่อรายได้จากค่าโดยสาร** | | |
| **2.ผลกระทบต่อรายได้เชิงพาณิชย์** | | |
| 2.1 รายได้จากค่าเช่าพื้นที่ภายในสถานี | | |
| 2.2 รายได้จากการให้เช่าพื้นที่ป้ายสำหรับโฆษณา | | |
| 2.3 รายได้จากค่าเช่าที่จอดรถ | | |
| **ผลกระทบทางด้านการเงิน** | | |
| **1.ดอกเบี้ยของการผิดนัดชำระหนี้** | | |
| **2.ความเสียหายจากอัตราดอกเบี้ยที่เพิ่มขึ้น** | | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**2. แบบสอบถามเพื่อการประเมินมูลค่าผลกระทบจากความล่าช้าในการก่อสร้างต่อภาครัฐเจ้าของโครงการร่วมกับประชาชน**

การประเมินความเสียหายจากความล่าช้าในการก่อสร้างกรณีโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู

ฝ่ายที่ได้รับกระทบ ฝ่ายภาครัฐร่วมกับประชาชน

ผู้ให้สัมภาษณ์ ......................................... ตำแหน่ง .......................................

| **ผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง** | | |
|---|---|---|
| **รายการผลกระทบ** | **เกิดผลกระทบ** | **ไม่เกิดผลกระทบ** |
| **ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านการบริหารจัดการโครงการ**<br>**1.ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร**<br>บุคลากรโครงการ | | |
| **2.ค่าโสหุ้ย** | | |
| **3.ค่าใช้จ่ายด้านการขยายระยะเวลาประกันที่ยืดออกไป** | | |
| **4.ค่าใช้จ่ายจากการเรียกร้องของที่ปรึกษาโครงการ** | | |
| **ผลกระทบทางด้านการเงิน** | | |
| **1.ดอกเบี้ยของการผิดนัดชำระหนี้** | | |
| **2.ความเสียหายจากอัตราดอกเบี้ยที่เพิ่มขึ้น** | | |

| **ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจสังคม** | | |
|---|---|---|
| **รายการผลกระทบ** | **เกิดผลกระทบ** | **ไม่เกิดผลกระทบ** |
| **ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่ประหยัดได้**<br>**1.ค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยาน** | | |
| **2.มูลค่าเวลาของผู้ใช้รถ** | | |
| **3.ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุ** | | |
| **ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม** | | |
| **1.ต้นทุนค่ากำจัดมลภาวะทางอากาศจากการใช้ยานพาหนะ** | | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**3. แบบคำถามเก็บข้อมูลของตัวแปรเพื่อคาดการณ์มูลค่าผลกระทบจากความล่าช้า**

**ผลกระทบทางด้านภาระค่าใช้จ่ายและการสูญเสียรายได้จากความล่าช้าในการก่อสร้าง**

**1. บุคลากรโครงการ**

$$SD = PS \times SL \times t_{dl}$$

$SD$ = ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากรโครงการที่เกิดจากความล่าช้าเฉลี่ย (บาท)

$SL$ = รายได้เฉลี่ยต่อวันของบุคลากร (บาท/คน/วัน) $PS$ = จำนวนบุคลากร (คน)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

..............................................................................................................................................

..............................................................................................................................................

..............................................................................................................................................

..............................................................................................................................................

..............................................................................................................................................

**2. ค่าโสหุ้ย หรือ Overhead Expense**

$$OH = P_{OH} \times DC$$

$$DAOH = \frac{OH}{PD} \times t_{dl}$$

$OH$ = ค่าโสหุ้ยโดยประมาณของโครงการ (บาท) $DAOH$ = ค่าโสหุ้ยที่เพิ่มขึ้นจากความล่าช้า (บาท)

$P_{OH}$ = ร้อยละของค่าโสหุ้ยเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง $DC$ = ค่าใช้จ่ายทางตรงของโครงการ (บาท)

$PD$ = ระยะเวลาก่อสร้างของโครงการ (วัน) $t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

..............................................................................................................................................

..............................................................................................................................................

..............................................................................................................................................

..............................................................................................................................................

..............................................................................................................................................

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**3.ค่าใช้จ่ายด้านการขยายระยะเวลาประกันที่ยืดออกไป**

$$IED = IE \times t_{dl}$$

$IED$ = มูลค่าเบี้ยประกันที่ต้องชำระ (บาท)

$IE$ = มูลค่าเบี้ยประกันที่ต้องชำระต่อวัน (บาท/วัน)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

**4. ค่าใช้จ่ายจากการเรียกร้องของที่ปรึกษาโครงการ**

$$CF = \frac{(PMC + CFC + ICE)}{PD} \times t_{dl}$$

$CF$ = มูลค่าความเสียหายจากการขยายระยะเวลาว่าจ้างที่ปรึกษาโครงการ (บาท)

$PMC$ = ค่าจ้างที่ปรึกษาบริหารโครงการ (บาท) $CFC$ = ค่าจ้างที่ปรึกษาควบคุมการก่อสร้าง (บาท)

$ICE$ = ค่าจ้างที่ปรึกษาอิสระ (บาท) $t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

$PD$ = ระยะเวลาโครงการ (วัน)

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ผลกระทบทางด้านการเงิน**

1.ดอกเบี้ยการผิดนัดชำระหนี้

$$DI = PP \times (IP - IR) \times \frac{t_{dl}}{365}$$

$DI$ = ดอกเบี้ยผิดนัดชำระหนี้ (บาท)

$PP$ = เงินต้นในงวดที่ผิดนัด (บาท) $IP$ = ดอกเบี้ยผิดนัด (ร้อยละ)

$IR$ = ดอกเบี้ยประจำงวด (ร้อยละ) $t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

................................................................................................................................................

................................................................................................................................................

................................................................................................................................................

................................................................................................................................................

................................................................................................................................................

ข. ความเสียหายจากอัตราดอกเบี้ยที่เพิ่มขึ้น

$$INC = RP \times \frac{\left(IR_i - IR_0\right)}{365} \times t_{dl}$$

$INC$ = มูลค่าความเสียหายจากดอกเบี้ยที่เพิ่มขึ้น (บาท)

$RP$ = เงินต้นคงเหลือ (บาท) $IR_i$ = อัตราดอกเบี้ยในปีที่ i (ร้อยละ)

$IR_0$ = อัตราดอกเบี้ยก่อนที่จะถูกปรับ (ร้อยละ) $t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

................................................................................................................................................

................................................................................................................................................

................................................................................................................................................

................................................................................................................................................

................................................................................................................................................

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## ผลกระทบต่อการสูญเสียรายได้การใช้ประโยชน์จากโครงการ

**1. ผลกระทบต่อรายได้จากค่าโดยสาร**

$SI = DPS \times ATC \times t_{dl}$

$SI$ = มูลค่าของโดยสารที่สูญเสียจากความล่าช้า (บาท) $DPS$ = ปริมาณผู้โดยสารเฉลี่ยต่อวัน (เที่ยว/วัน)

$ATC$ = ราคาค่าตั๋วเฉลี่ย (บาท/เที่ยว) $t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

**2. ผลกระทบต่อรายได้เชิงพาณิชย์**

**2.1 รายได้จากค่าเช่าพื้นที่ภายในสถานี**

$LAR = AR \times LP \times t_{dl}$

$LAR$ = มูลค่าความสูญเสียรายได้ค่าเช่าพื้นที่ภายในสถานี (บาท) $AR$ = ขนาดพื้นที่ (ตารางเมตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$LP$ = ค่าเช่าพื้นที่ (บาท/วัน-ตารางเมตร)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

**2.2 รายได้จากการให้เช่าพื้นที่ป้ายสำหรับโฆษณา**

$$CAR = CAB \times PR \times t_{dl}$$

$CAR$ = รายได้จากค่าเช่าพื้นที่ป้ายโฆษณาที่สูญเสีย (บาท) $CAB$ = จำนวนป้ายโฆษณา

$PR$ = ราคาค่าเช่าป้าย (บาท/วัน-ป้าย)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

..........................................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................................

**2.3 รายได้จากค่าเช่าที่จอดรถ**

$$PAR = PL \times CP \times T \times t_{dl}$$

$PAR$ = รายได้จากค่าเช่าที่จอดรถที่สูญเสีย (บาท) $PL$ = จำนวนช่องจอดรถที่ให้บริการ

$CP$ = ค่าธรรมเนียมที่จอด (บาทต่อชั่วโมง) $T$ = ชั่วโมงที่ใช้บริการ (ชั่วโมง/วัน)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

..........................................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................................

**ผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจสังคมจากความล่าช้าในการก่อสร้าง**

**ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนที่ประหยัดได้**

**1. ค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยาน**

$$VOC_{Loss} = \left[ (VOC \times VKT_o) - (VOC \times VKT_p) \right] \times t_{dl}$$

$VOC_{Loss}$ = มูลค่าความสูญเสียการประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะ (บาท)

$VOC$ = ค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะในการเดินทางของยานพาหนะตัวแทน (บาท/PCU-กิโลเมตร)

$VKT_o$ = ระยะทางรวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีไม่มีโครงการ ( $o$ ) (PCU-กิโลเมตร/วัน)

$VKT_p$ = ระยะทางรวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีที่มีโครงการ ( $p$ ) (PCU-กิโลเมตร/วัน)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

**2. มูลค่าเวลาของผู้ใช้รถ**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$VOT_{Loss} = \left[ (VOT \times VHT_o) - (VOT \times VHT_p) \right] \times t_{dl}$$

$VOT_{Loss}$ = มูลค่าการสูญเสียการประหยัดเวลาในการเดินทาง (บาท)

$VOT$ = มูลค่าเวลาของผู้เดินทางในพื้นที่ศึกษา (บาท/PCU-ชม.)

$VHT_o$ = ระยะเวลารวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีไม่มีโครงการ (PCU-ชั่วโมง/วัน)

$VHT_p$ = ระยะเวลารวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีที่มีโครงการ (PCU-ชั่วโมง/วัน)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................

..........................................................................................

..........................................................................................

**3. ค่าใช้จ่ายเนื่องจากอุบัติเหตุ**

..........................................................................................

..........................................................................................

..........................................................................................

..........................................................................................

..........................................................................................

## ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

**1.ต้นทุนค่ากำจัดมลภาวะทางอากาศจากการใช้ยานพาหนะ**

$$EC_{Loss} = \left[ (EC \times VKT_o) - (EC \times VKT_p) \right] \times t_{dl}$$

$EC_{Loss}$ = มูลค่าการสูญเสียการประหยัดจากมลภาวะ (บาท)

$EC$ = มูลค่าจากมลภาวะยานพาหนะตัวแทน = 5 บาท/PCU-กิโลเมตร

$VKT_o$ = ระยะทางรวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีไม่มีโครงการ (PCU-กิโลเมตร/วัน)

$VKT_p$ = ระยะทางรวมของระบบที่ผู้ใช้บริการเดินทางกรณีที่มีโครงการ (PCU-กิโลเมตร/วัน)

$t_{dl}$ = ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าเกินกำหนด (วัน)

..........................................................................................

..........................................................................................

..........................................................................................

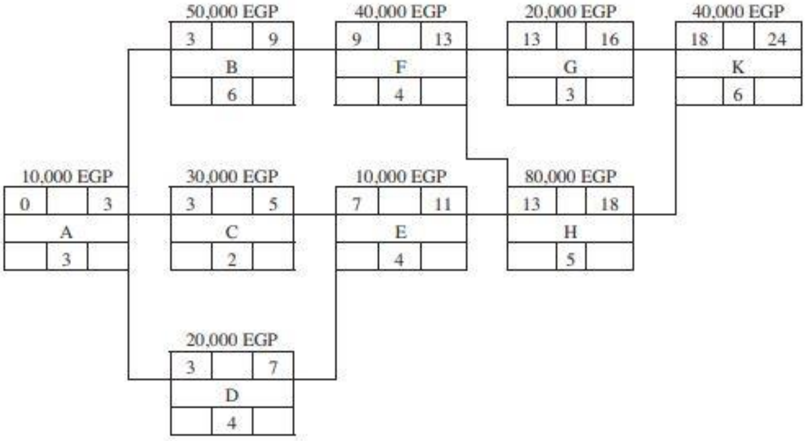
..........................................................................................

..........................................................................................

## ภาคผนวก ค
## ตัวอย่างการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยวิธี KFFM
## และตัวอย่างผลการใช้งาน KFFM ด้วยโปรแกรม Excel

### ตัวอย่างการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยวิธี KFFM

ผู้วิจัยนำข้อมูลจากงานวิจัยของ Abdel Azeem et al. (2014) ที่ได้ศึกษาวิธีการใช้งาน Kalman Filter forecasting method โดยใช้โครงการจำลองซึ่งมีแผนกำหนดการก่อสร้างและมีมูลค่าของกิจกรรมเป็นค่าเงินอียิปต์ (EGP = Egyptian Pound) ดังภาพที่ 4.1




*ภาพที่ 4.18 แผนกำหนดการก่อสร้าง (ที่มา: Abdel Azeem et al., 2014)*

**การใช้งาน KFFM ครั้งที่ 1 ณ วันที่ 4 ของโครงการ** ($k$ =1, $t$ =4)

จากภาพที่ 4.1 สรุปได้ว่าโครงการข้างต้นคาดว่าจะใช้ระยะเวลาก่อสร้างทั้งหมด 24 วัน ทั้งนี้จากขั้นตอนการคำนวณ Kalman Filter Forecasting Method ผู้ใช้ต้องทราบถึงระยะเวลาก่อสร้างโดยเฉลี่ย $\mu_T$ และ ความแปรปรวนของระยะเวลาก่อสร้าง $\sigma_T$ ซึ่งสามารถประเมินได้ด้วยบุคคลที่มีประสบการณ์ หรือหาได้จากสมการของ PERT ดังต่อไปนี้

$$\mu_T = \frac{a+4m+b}{6} \quad (4.6)$$

$$\sigma_T = \frac{b-a}{6} \quad (4.7)$$

$\mu_T$ = ระยะเวลาก่อสร้างโครงการโดยเฉลี่ย

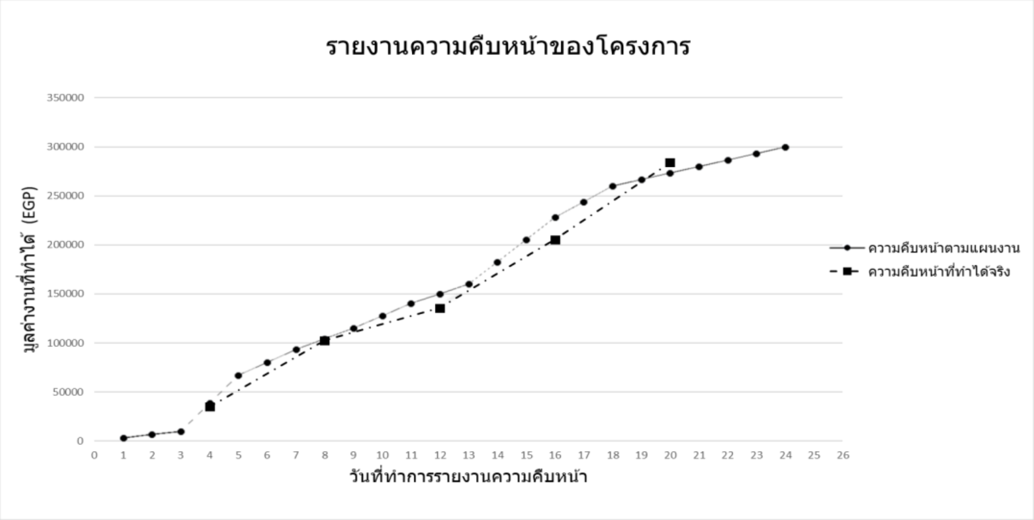
$\sigma_T$ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาก่อสร้างโครงการ

$a$ = ระยะเวลาก่อสร้างที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้

$m$ = ระยะเวลาก่อสร้างที่เป็นไปได้มากที่สุด

$b$ = ระยะเวลาก่อสร้างที่มากที่สุดที่เป็นไปได้

ขั้นตอนที่ 1.สร้าง Baseline s-curve และ Progress s-curve หาระยะเวลาก่อสร้างโดยเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาก่อสร้าง




*ภาพที่ 4.19 รายงานความคืบหน้าของโครงการจำลอง*

หากผู้ใช้งานไม่มีข้อมูลในส่วนของระยะเวลาก่อสร้างต่ำสุด ( $a$ ) และสูงสุด ( $b$ ) ที่เป็นไปได้ของแต่ละกิจกรรม ผู้ใช้สามารถประมาณระยะเวลาก่อสร้างต่ำสุดและสูงโดยเฉลี่ยได้จากการคูณระยะเวลาก่อสร้างตามแผน (Project’s planned duration) กับตัวประกอบเพื่อคาดการณ์ระยะเวลาหรือใช้วิจารณญาณได้ เช่นในโครงการตัวอย่าง มีระยะเวลาก่อสร้างตามแผน ( $PD$ ) 24 วันและในกรณีนี้จะประมาณค่า $a = 0.95(PD)$ และค่า $b = 1.05(PD)$ โดยอ้างอิงจากเอกสารของ (Abdel Azeem et al., 2014; Hasazandeh et al., 2016) ดังนั้นระยะเวลาก่อสร้างโดยเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโครงการตัวอย่างจะมีระยะเวลาดังนี้

$$\mu_T = \frac{0.95(24) + 4(24) + 1.05(24)}{6} = 24 \text{ วัน}$$

$$\sigma_T = \frac{1.05(24) - 0.95(24)}{6} = 0.4 \text{ วัน}$$

กำหนดให้ค่า $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ และ $P_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ สาเหตุที่ค่าดังกล่าวเป็น 0 เนื่องจากในเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเริ่มต้นของโครงการซึ่งเป็นช่วงที่ถือว่าโครงการยังไม่มีความผิดพลาดใด ๆ เกิดขึ้น (Kim, 2007)

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่า $\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1}$ และ $P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q_{k-1}$ (3.7), (3.8)

เมื่อ $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ และ $P_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$

การคำนวณ $\hat{x}_1^- = A\hat{x}_0$

$$\hat{x}_1^- = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$P_1^- = AP_0A^T + Q_0$$

$$P_1^- = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^T + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0.16 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0.16 \end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 3 แปลงมูลค่าความคืบหน้าโครงการในตารางที่ 4.1 ให้อยู่ในรูป Time Variance (TV)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.8 รายงานความคืบหน้า ณ วันที่ 4 ของโครงการ

| ความคืบหน้าของโครงการ ณ วันที่ 4 ($t$ =4) | | |
|---|---|---|
| กิจกรรม | %ผลงาน | มูลค่า(EGP) |
| A | 100 | 10000 |
| B | 10 | 5000 |
| C | 50 | 15000 |
| D | 25 | 5000 |
| E | 0 | 0 |
| F | 0 | 0 |
| G | 0 | 0 |
| H | 0 | 0 |
| K | 0 | 0 |
| ผลรวมมูลค่าที่ทำได้ (EV) | 35000 EGP | |
| มูลค่างานตามแผน (PV) | 38333 EGP | |

การคำนวณ $TV_1 = ES_1 - t$

$$ES_1 = 3 + \frac{EV_1 - PV_3}{PV_4 - PV_3}$$

$$= 3 + \frac{35000 - 10000}{38000 - 10000} = 3.882 \text{ วัน}$$

$$TV_1 = 3.882 - 4 = -0.1176$$

$$dTV_1 = -0.1176 - 0 = -0.1176 \qquad (3.2)$$

$$\therefore x_{k=1} = \begin{bmatrix} -0.1176 \\ -0.1176 \end{bmatrix} \qquad (3.1)$$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่า $z_k = Hx_k - v_k$ (3.5)

การคำนวณ $z_1 = Hx_1 - v_1$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.1176 \\ -0.1176 \end{bmatrix} - 0$$

$$= -0.1176$$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่า $K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1}$ (3.11)

การคำนวณ $K_1 = P_1^- H^T (\mathrm{H} P_1^- H^T + R)^{-1}$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0.16 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \left( \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0.16 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} + 1 \right)$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณค่า $\hat{x}_k^+ = \hat{x}_k^- + K_k(\mathrm{z}_k - H\hat{x}_k^-)$ (3.10)

การคำนวณ $\hat{x}_1^+ = \hat{x}_1^- + K_1(\mathrm{z}_1 - H\hat{x}_1^-)$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \left( -0.1176 - \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$=\begin{bmatrix}0\\0\end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณค่า $P_k^+ = (I - K_k H)P_k^-$ (3.12)

การคำนวณ $P_1^+ = (I - K_1 H)P_1^-$

$$=(\begin{bmatrix}1 & 0\\0 & 1\end{bmatrix}-\begin{bmatrix}0\\0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 0\end{bmatrix})\begin{bmatrix}0 & 0\\0 & 0.16\end{bmatrix}$$

$$=\begin{bmatrix}0 & 0\\0 & 0.16\end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 8 คาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้าง (EDAC) และความแปรปรวน ($\sigma^2$) ด้วยค่า $\hat{x}_k^+$ และ $P_k^+$

การคำนวณ $TV_k^+ = ES_k^+ - t$

$ES_1^+ = TV_1^+ + 4 = 0 + 4 = 4$ วัน (3.19)

$EDAC_1 = \dfrac{PD}{ES_1^+ / 4} = \dfrac{24}{4/4} = 24$ วัน (3.18)

$\sigma_1^2 = 0.16$

**การใช้งาน KFFM ครั้งที่ 2 ณ วันที่ 8 ของโครงการ ($k$ =2, $t$ =8)**

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณค่า $\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1}$ และ $P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q_{k-1}$ (3.7), (3.8)

การคำนวณ $\hat{x}_2^- = A\hat{x}_1^+$

$$\hat{x}_2^- = \begin{bmatrix}1 & 1\\0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0\\0\end{bmatrix}$$

$$=\begin{bmatrix}0\\0\end{bmatrix}$$

$P_2^- = AP_1^+A^T + Q_1$

$$P_2^- = \begin{bmatrix}1 & 1\\0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0 & 0\\0 & 0.16\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 1\\0 & 1\end{bmatrix}^T + \begin{bmatrix}0 & 0\\0 & 0.16\end{bmatrix}$$

Chulalongkorn University

$$= \begin{bmatrix} 0.16 & 0.16 \\ 0.16 & 0.32 \end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 2 แปลงมูลค่าความคืบหน้าโครงการในตารางที่ 4.2 ให้อยู่ในรูป Time Variance (TV)

ตารางที่ 4.9 รายงานความคืบหน้า ณ วันที่ 8 ของโครงการ

| ความคืบหน้าของโครงการ ณ วันที่ 8 | | |
|---|---|---|
| กิจกรรม | %ผลงาน | มูลค่า |
| A | 100 | 10000 |
| B | 83.33 | 41665 |
| C | 100 | 30000 |
| D | 100 | 20000 |
| E | 10 | 1000 |
| F | 0 | 0 |
| G | 0 | 0 |
| H | 0 | 0 |
| K | 0 | 0 |
| ผลรวมมูลค่าที่ทำได้ (EV) | 102665 EGP | |
| มูลค่างานตามแผน (PV) | 104167 EGP | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การคำนวณ $TV_2 = ES_2 - t$

$$ES_2 = 7 + \frac{EV_2 - PV_7}{PV_8 - PV_7}$$

$$= 7 + \frac{102665 - 93333}{104166.67 - 93333}$$

$$= 7.8614 \text{ วัน}$$

$$TV_2 = 7.8614 - 8 = -0.1386$$

$$dTV_2 = -0.1386 - (-0.1176) = -0.0210 \quad (3.2)$$

$$\therefore x_{k=2} = \begin{bmatrix} -0.1386 \\ -0.0210 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่า $z_k = Hx_k - v_k$ (3.5)

การคำนวณ $z_2 = Hx_2 - v_2$

$$=\begin{bmatrix}1 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}-0.1386\\ -0.0210\end{bmatrix}-0=-0.1386$$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่า $K_k = P_k^- H^T (\mathrm{H} P_k^- H^T + R)^{-1}$ (3.11)

การคำนวณ $K_2 = P_2^- H^T (\mathrm{H} P_2^- H^T + R)^{-1}$

$$=\begin{bmatrix}0.16 & 0.16\\ 0.16 & 0.32\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1\\ 0\end{bmatrix}(\begin{bmatrix}1 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0.16 & 0.16\\ 0.16 & 0.32\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1\\ 0\end{bmatrix}+1)$$

$$=\begin{bmatrix}0.137931\\ 0.137931\end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่า $\hat{x}_k^+ = \hat{x}_k^- + K_k(\mathrm{z}_k - H\hat{x}_k^-)$ (3.10)

การคำนวณ $\hat{x}_2^+ = \hat{x}_2^- + K_2(\mathrm{z}_2 - H\hat{x}_2^-)$

$$=\begin{bmatrix}0\\ 0\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0.1379\\ 0.1379\end{bmatrix}\times(-0.1386-\begin{bmatrix}1 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0\\ 0\end{bmatrix})$$

$$=\begin{bmatrix}-0.0191\\ -0.0191\end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณค่า $P_k^+ = (I - K_k H)P_k^-$ (3.12)

การคำนวณ $P_2^+ = (I - K_2 H)P_2^-$

$$=(\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{bmatrix}-\begin{bmatrix}0.1379\\ 0.1379\end{bmatrix}\times\begin{bmatrix}1 & 0\end{bmatrix})\times\begin{bmatrix}0.16 & 0.16\\ 0.16 & 0.32\end{bmatrix}$$

$$=\begin{bmatrix}0.1379 & 0.1379\\ 0.1379 & 0.2979\end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 7 คาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้าง (EDAC) และความแปรปรวน ($\sigma^2$) ด้วยค่า $\hat{x}_k^+$ และ $P_k^+$

การคำนวณ $TV_k^+ = ES_k^+ - t$

$ES_2^+ = TV_2^+ + 8 = -0.01912 + 8 = 7.9809$ วัน (3.19)

$$EDAC_2 = \frac{PD}{ES_2^+ / 8}$$ (3.18)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$= \frac{24}{7.9809/8} = 24.0575 \text{ วัน}$$

$$\sigma_2^2 = 0.2979$$

เมื่อทำการคำนวณด้วยวิธี Kalman Filter จนครบ 5 ครั้งแล้วสามารถสรุปผลได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ค.1 สรุปผลการคาดการณ์ระยะเวลาก่อสร้างด้วยการใช้ KFFM โดยผู้วิจัย

| ครั้งที่ | วันที่ทำการใช้ KFFM (นับจากวันที่เริ่มต้นการก่อสร้าง) | ระยะเวลาก่อสร้างที่คาดการณ์ได้จาก KFFM ($EDAC_{k,t}$) | ความแปรปรวนของ $EDAC_{k,t}$ (Variance-$EDAC_{k,t}$) | ขอบบน (Upper bound) | ขอบล่าง (Lower bound) |
|---|---|---|---|---|---|
| $k$ =1 | $t$ =4 | 24 | 0.1600 | 24.66 | 23.34 |
| $k$ =2 | $t$ =8 | 24.06 | 0.2979 | 24.96 | 23.15 |
| $k$ =3 | $t$ =12 | 25.22 | 0.3469 | 26.19 | 24.56 |
| $k$ =4 | $t$ =16 | 25.55 | 0.3477 | 26.52 | 24.58 |
| $k$ =5 | $t$ =20 | 24.24 | 0.3538 | 25.22 | 23.26 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.2 ผลการใช้งาน KFFM กับโครงการ Gaysorn 2

| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 28.00 | 0.50 |
| | 0.00 | 0.00 | 0.25 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.25 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 2 | 0.00 | 0.25 | 0.25 | -0.05 | 0.91 | -0.05 | 0.02 | 0.02 | 1.95 | 28.72 | 0.52 |
| | 0.00 | 0.25 | 0.50 | | 0.91 | -0.05 | 0.02 | 0.27 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 3 | -0.10 | 0.34 | 0.29 | -0.01 | 0.93 | -0.02 | 0.02 | 0.02 | 2.98 | 28.18 | 0.53 |
| | -0.05 | 0.29 | 0.52 | | 0.81 | 0.02 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 4 | 0.00 | 0.35 | 0.30 | 0.16 | 0.93 | 0.15 | 0.02 | 0.02 | 4.15 | 26.98 | 0.53 |
| | 0.02 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | 0.15 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 5 | 0.30 | 0.35 | 0.30 | 0.07 | 0.93 | 0.08 | 0.02 | 0.02 | 5.08 | 27.55 | 0.53 |
| | 0.15 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.04 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 6 | 0.04 | 0.35 | 0.30 | 0.02 | 0.93 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 6.02 | 27.89 | 0.53 |
| | -0.04 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.06 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 7 | -0.03 | 0.35 | 0.30 | -0.07 | 0.93 | -0.07 | 0.02 | 0.02 | 6.93 | 28.29 | 0.53 |
| | -0.06 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.09 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 8 | -0.16 | 0.35 | 0.30 | 0.10 | 0.93 | 0.09 | 0.02 | 0.02 | 8.09 | 27.70 | 0.53 |
| | -0.09 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | 0.13 | 0.02 | 0.28 | | | |

ตารางที่ ค.2 ผลการใช้งาน KFFM กับโครงการ Gaysorn 2 (ต่อ)

| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 0.21 | 0.35 | 0.30 | -0.39 | 0.93 | -0.35 | 0.02 | 0.02 | 8.65 | 29.15 | 0.53 |
| | 0.13 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.37 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 10 | -0.72 | 0.35 | 0.30 | 0.00 | 0.93 | -0.05 | 0.02 | 0.02 | 9.95 | 28.14 | 0.53 |
| | -0.37 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | 0.22 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 11 | 0.17 | 0.35 | 0.30 | -0.19 | 0.93 | -0.16 | 0.02 | 0.02 | 10.84 | 28.42 | 0.53 |
| | 0.22 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.07 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 12 | -0.24 | 0.35 | 0.30 | -0.06 | 0.93 | -0.07 | 0.02 | 0.02 | 11.93 | 28.16 | 0.53 |
| | -0.07 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | 0.08 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 13 | 0.01 | 0.35 | 0.30 | -0.26 | 0.93 | -0.25 | 0.02 | 0.02 | 12.75 | 28.54 | 0.53 |
| | 0.08 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.15 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 14 | -0.39 | 0.35 | 0.30 | -0.31 | 0.93 | -0.31 | 0.02 | 0.02 | 13.69 | 28.64 | 0.53 |
| | -0.15 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.08 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 15 | -0.39 | 0.35 | 0.30 | -0.20 | 0.93 | -0.21 | 0.02 | 0.02 | 14.79 | 28.40 | 0.53 |
| | -0.08 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | 0.08 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 16 | -0.13 | 0.35 | 0.30 | -0.41 | 0.93 | -0.39 | 0.02 | 0.02 | 15.61 | 28.70 | 0.53 |
| | 0.08 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.14 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 17 | -0.53 | 0.35 | 0.30 | -0.76 | 0.93 | -0.74 | 0.02 | 0.02 | 16.26 | 29.28 | 0.53 |
| | -0.14 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.33 | 0.02 | 0.28 | | | |

ตารางที่ ค.2 ผลการใช้งาน KFFM กับโครงการ Gaysorn 2 (ต่อ)

| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 18 | -1.07 | 0.35 | 0.30 | -0.37 | 0.93 | -0.42 | 0.02 | 0.02 | 17.58 | 28.67 | 0.53 |
| | -0.33 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | 0.25 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 19 | -0.17 | 0.35 | 0.30 | -0.58 | 0.93 | -0.55 | 0.02 | 0.02 | 18.45 | 28.84 | 0.53 |
| | 0.25 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.09 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 20 | -0.64 | 0.35 | 0.30 | -1.04 | 0.93 | -1.02 | 0.02 | 0.02 | 18.98 | 29.50 | 0.53 |
| | -0.09 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.42 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 21 | -1.44 | 0.35 | 0.30 | -0.56 | 0.93 | -0.62 | 0.02 | 0.02 | 20.38 | 28.85 | 0.53 |
| | -0.42 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | 0.30 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 22 | -0.31 | 0.35 | 0.30 | -0.81 | 0.93 | -0.78 | 0.02 | 0.02 | 21.22 | 29.03 | 0.53 |
| | 0.30 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.11 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 23 | -0.89 | 0.35 | 0.30 | -0.93 | 0.93 | -0.93 | 0.02 | 0.02 | 22.07 | 29.18 | 0.53 |
| | -0.11 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.14 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 24 | -1.07 | 0.35 | 0.30 | -0.78 | 0.93 | -0.80 | 0.02 | 0.02 | 23.20 | 28.97 | 0.53 |
| | -0.14 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | 0.09 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 25 | -0.71 | 0.35 | 0.30 | -1.24 | 0.93 | -1.21 | 0.02 | 0.02 | 23.79 | 29.42 | 0.53 |
| | 0.09 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.35 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 26 | -1.55 | 0.35 | 0.30 | -0.95 | 0.93 | -0.99 | 0.02 | 0.02 | 25.01 | 29.11 | 0.53 |
| | -0.35 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | 0.15 | 0.02 | 0.28 | | | |

ตารางที่ ค.2 ผลการใช้งาน KFFM กับโครงการ Gaysorn 2 (ต่อ)

| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27 | -0.84 | 0.35 | 0.30 | -0.75 | 0.93 | -0.76 | 0.02 | 0.02 | 26.24 | 28.81 | 0.53 |
| | 0.15 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | 0.22 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 28 | -0.54 | 0.35 | 0.30 | -1.64 | 0.93 | -1.57 | 0.02 | 0.02 | 26.43 | 29.66 | 0.53 |
| | 0.22 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.69 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 29 | -2.26 | 0.35 | 0.30 | -2.08 | 0.93 | -2.09 | 0.02 | 0.02 | 26.91 | 30.18 | 0.53 |
| | -0.69 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.54 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 30 | -2.63 | 0.35 | 0.30 | -2.93 | 0.93 | -2.91 | 0.02 | 0.02 | 27.09 | 31.01 | 0.53 |
| | -0.54 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.79 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 31 | -3.70 | 0.35 | 0.30 | -3.16 | 0.93 | -3.20 | 0.02 | 0.02 | 27.80 | 31.22 | 0.53 |
| | -0.79 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.35 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 32 | -3.54 | 0.35 | 0.30 | -4.25 | 0.93 | -4.21 | 0.02 | 0.02 | 27.79 | 32.24 | 0.53 |
| | -0.35 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.93 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 33 | -5.14 | 0.35 | 0.30 | -5.14 | 0.93 | -5.14 | 0.02 | 0.02 | 27.86 | 33.17 | 0.53 |
| | -0.93 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.93 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 34 | -6.07 | 0.35 | 0.30 | -6.04 | 0.93 | -6.04 | 0.02 | 0.02 | 27.96 | 34.05 | 0.53 |
| | -0.93 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -0.91 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 35 | -6.95 | 0.35 | 0.30 | -7.25 | 0.93 | -7.23 | 0.02 | 0.02 | 27.77 | 35.29 | 0.53 |
| | -0.91 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -1.15 | 0.02 | 0.28 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+Vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 36 | -8.39 | 0.35 | 0.30 | -8.27 | 0.93 | -8.27 | 0.02 | 0.02 | 27.73 | 36.36 | 0.53 |
| | -1.15 | 0.30 | 0.53 | | 0.82 | -1.06 | 0.02 | 0.28 | | | |

ตารางที่ ค.3 ผลการใช้งาน KFFM กับโครงการโครงสร้างรถไฟฟ้าสายสีชมพู

| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.06 | 0.00 | -0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.94 | 41.43 | 1.83 |
| | 0.00 | 0.00 | 3.36 | | 0.00 | -0.06 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 2 | -0.12 | 3.36 | 3.36 | -0.47 | 1.00 | -0.47 | 0.00 | 0.00 | 1.53 | 50.98 | 1.83 |
| | -0.06 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.41 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 3 | -0.88 | 3.36 | 3.36 | -0.44 | 1.00 | -0.44 | 0.00 | 0.00 | 2.56 | 45.65 | 1.83 |
| | -0.41 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | 0.03 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 4 | -0.40 | 3.36 | 3.36 | -0.55 | 1.00 | -0.55 | 0.00 | 0.00 | 3.45 | 45.26 | 1.83 |
| | 0.03 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.12 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 5 | -0.67 | 3.36 | 3.36 | -0.50 | 1.00 | -0.50 | 0.00 | 0.00 | 4.50 | 43.36 | 1.83 |
| | -0.12 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | 0.05 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 6 | -0.45 | 3.36 | 3.36 | -0.76 | 1.00 | -0.76 | 0.00 | 0.00 | 5.24 | 44.69 | 1.83 |
| | 0.05 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.26 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 7 | -1.02 | 3.36 | 3.36 | -0.96 | 1.00 | -0.96 | 0.00 | 0.00 | 6.04 | 45.18 | 1.83 |
| | -0.26 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.19 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 8 | -1.15 | 3.36 | 3.36 | -1.22 | 1.00 | -1.22 | 0.00 | 0.00 | 6.78 | 46.01 | 1.83 |
| | -0.19 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.26 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 9 | -1.48 | 3.36 | 3.36 | -1.36 | 1.00 | -1.36 | 0.00 | 0.00 | 7.64 | 45.95 | 1.83 |
| | -0.26 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.14 | 0.00 | 3.36 | | | |

ตารางที่ ค.3 ผลการใช้งาน KFFM กับโครงการโครงสร้างรถไฟฟ้าสายสีชมพู (ต่อ)

| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | -1.50 | 3.36 | 3.36 | -1.80 | 1.00 | -1.80 | 0.00 | 0.00 | 8.20 | 47.58 | 1.83 |
| | -0.14 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.44 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 11 | -2.24 | 3.36 | 3.36 | -2.38 | 1.00 | -2.38 | 0.00 | 0.00 | 8.62 | 49.79 | 1.83 |
| | -0.44 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.58 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 12 | -2.97 | 3.36 | 3.36 | -2.98 | 1.00 | -2.98 | 0.00 | 0.00 | 9.02 | 51.89 | 1.83 |
| | -0.58 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.60 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 13 | -3.58 | 3.36 | 3.36 | -3.50 | 1.00 | -3.50 | 0.00 | 0.00 | 9.50 | 53.37 | 1.83 |
| | -0.60 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.52 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 14 | -4.02 | 3.36 | 3.36 | -4.00 | 1.00 | -4.00 | 0.00 | 0.00 | 10.00 | 54.60 | 1.83 |
| | -0.52 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.50 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 15 | -4.50 | 3.36 | 3.36 | -4.24 | 1.00 | -4.24 | 0.00 | 0.00 | 10.76 | 54.35 | 1.83 |
| | -0.50 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.24 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 16 | -4.47 | 3.36 | 3.36 | -4.35 | 1.00 | -4.35 | 0.00 | 0.00 | 11.65 | 53.56 | 1.83 |
| | -0.24 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.11 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 17 | -4.46 | 3.36 | 3.36 | -4.42 | 1.00 | -4.42 | 0.00 | 0.00 | 12.58 | 52.69 | 1.83 |
| | -0.11 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.07 | 0.00 | 3.36 | | | |
| Forecasting | Xke | Pke | | Z=H*xk+vk | Kalman Gain(K) | Xku | Pku | | ES(k) | EDAC | Sigma |
| 18 | -4.49 | 3.36 | 3.36 | -4.51 | 1.00 | -4.51 | 0.00 | 0.00 | 13.49 | 52.04 | 1.83 |
| | -0.07 | 3.36 | 6.72 | | 1.00 | -0.09 | 0.00 | 3.36 | | | |

**ภาคผนวก ง**

**การพิสูจน์ความถูกต้องของผลการ Simulation ใน Jump process**

ในบทที่ 6 ผู้วิจัยได้กล่าวถึงเรื่อง Jump process ในโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู โดย Jump process จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดอุบัติภัยหรือเหตุการณ์ใด ๆ ที่ทำให้โครงการไม่สามารถดำเนินการก่อสร้างต่อไปได้เป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งในกรณีนี้ผู้วิจัยได้ใช้เหตุการณ์น้ำท่วมเมื่อปี พ.ศ. 2554 เป็นกรณีศึกษา

ทั้งนี้ผลจากการจำลองเหตุการณ์ด้วยวิธี Monte Carlo simulation ด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อหาความถี่ที่โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูจะเผชิญกับเหตุการณ์น้ำท่วมระดับความรุนแรงเท่ากับปี พ.ศ. 2554 ในรอบ 20 เดือน พบว่า โครงการจำลองจำนวน 803 โครงการจาก 10,000 โครงการ จะเผชิญกับเหตุการณ์ดังกล่าวอย่างน้อย 1 ครั้ง ในรอบการจำลอง 20 เดือน ซึ่งหมายความว่าในช่วง 20 เดือน มีความเป็นไปได้ร้อยละ 8 ที่โครงการดังกล่าวจะเผชิญหน้ากับน้ำท่วมระดับรุนแรงเท่ากับปี พ.ศ. 2554

อย่างไรก็ตามปริมาณของความเป็นไปได้ ร้อยละ 8 เป็นปริมาณที่ได้มาจาก Simulation method ดังนั้นในส่วนนี้จึงเป็นการเปรียบเทียบผลการคำนวณด้วยวิธีการทางคณิตเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการ simulation โดยสามารถทำได้ดังนี้

$X_J$ = Jump process คาบของการเกิดซ้ำ (Return period) = 20 ปี

โอกาสในการเกิด Jump ในทุก 1 เดือน ; $\lambda = \frac{1}{20} \times \frac{1}{12} = 4.17 \times 10^{-3}$ ครั้ง/เดือน

โอกาสในการเกิด Jump อย่างน้อย 1 ครั้ง ในรอบ 20 เดือนจึงเท่ากับ

$$P(X_J) = P(k,\tau) = \frac{(\lambda\tau)^k \cdot e^{-\lambda\tau}}{k!}$$

$$P(k \ge 1, 20) = 1 - P(0,20) = 0.08$$

จากผลการคำนวณด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ก็คาดการณ์ได้ว่า มีความเป็นไปได้ร้อยละ 8 ที่จะเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าความเป็นไปได้ที่ได้จากวิธี simulation method

## ภาคผนวก จ

## รายการตัวแปรของตัวแบบผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ที่สำคัญ

| | |
|---|---|
| $A$ | Crash rate |
| $AC$ | Accident Cost |
| $AADT$ | Average annual daily traffic |
| $ADT$ | Average daily traffic |
| $AR$ | Area |
| $ATC$ | Average ticket cost |
| $A_{wz}$ | Additional accident cost in a work zone |
| $C$ | Average crash dollar value |
| $CAB$ | Commercial advertisement board |
| $CAR$ | Commercial advertisement rent |
| $CF$ | Consulting fee from delay |
| $CFC$ | Construction consulting firm cost |
| $CP$ | Car parking price |
| $DAOH$ | Overhead damage |
| $DC$ | Direct cost |
| $DDC$ | Driver Delay Cost |
| $DI$ | Delay payment interest |
| $DPS$ | Average daily passenger |
| $DUV$ | Designated utilization value impact |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| $EAOA$ | Expected annual operating activity |
| $EAOC$ | Estimated annual overhead costs |
| $EC$ | Environment Cost |
| $FA$ | Fatal Accident |
| $\Delta H_c$ | Value of travel time by user class c |
| $ICE$ | Independent consult engineer cost |
| $IE$ | Insurance expense |
| $IED$ | Insurance expense from delay |
| $IMP$ | Impact |
| $INC$ | Increasing interest rate |
| $IP$ | Interest of delayed payment |
| $IR$ | Interest rate |
| $L$ | Length that construction causes effect |
| $LAR$ | Leasing area |
| $LP$ | Leasing price |
| $M_c$ | Unit value of time for user class c |
| $NFA$ | Non-Fatal Accident |
| $O_c$ | Occupancy rate of vehicles of user class c |
| $OH$ | Overhead cost |
| $PAR$ | Parking rent damage |
| $PC$ | Project cost |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| $PD$ | Project duration |
| $PDO$ | Property damage only accidents |
| $PIM$ | Project impact - management |
| $PL$ | Parking lot |
| $PMC$ | Project management consultant cost |
| $POC$ | Project overhead cost |
| $P_{OH}$ | Percent overhead cost |
| $POR$ | Predetermined overhead rate |
| $PP$ | Principal payment |
| $PR$ | Rental price |
| $PS$ | Project Staff |
| $PT$ | Parking time |
| $RP$ | Remaining principal |
| $R_{wz}$ | Proportional change of the accident rate in a work zone |
| $S$ | Speed |
| $SD$ | Salary damage |
| $SI$ | Ticket selling impact |
| $SL$ | Average Salary |
| $UTC$ | User time cost |
| $V$ | Traffic Volume |
| $VHT$ | Vehicle Hours Travelled |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| *VKT* | Vehicle kilometer travelled |
| *VOC* | Vehicle operating cost |
| *VOT* | Value of time |
| *W* | Value of time |
| *x* | Adjustment factor for unreported PDO accidents |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| **ชื่อ-สกุล** | สุพัตรเดช เกษมสุข |
| **วัน เดือน ปี เกิด** | 27 สิงหาคม 2539 |
| **สถานที่เกิด** | กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย |
| **วุฒิการศึกษา** | วศ.บ.(วิศวกรรมโยธา), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| **ผลงานตีพิมพ์** | Kasemsukh, S., & Kokkaew, N. (2020). Financial Impact Assessment of Construction Delay in BOT Infrastructure Projects. In ICCREM 2020 (pp. 425-434) |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University