ตัวแบบเชิงคำนวณเพื่อการวิเคราะห์ความเสี่ยงของผู้มีส่วนได้เสียหลักของสัญญา PPP Availability-based O&M ของโครงการทางหลวงระหว่างเมืองของประเทศไทย

Computational model of Stakeholders' financial risk analysis in PPP Availability-based O&M Contracts for Inter-City Motorway Projects

นันทพัฒน์ ปิ่นตบแต่ง[1,*] และ นคร กกแก้ว[1]

[1,2] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
**Corresponding author; E-mail address: pat.pintobtang@gmail.com*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันรัฐได้เปิดโอกาสให้เอกชนเข้ามาร่วมลงทุนในโครงการของรัฐในรูปแบบของการจ้างดำเนินงานและบำรุงรักษาโครงการ (PPP O&M) ซึ่งรัฐเจ้าของโครงการรับผิดชอบในการลงทุนในการการก่อสร้างงานโยธา ส่วนเอกชนรับผิดชอบในการลงทุนในงานระบบและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาตลอดอายุโครงการ ตัวอย่างโครงการที่ใช้รูปแบบการร่วมลงทุนแบบ PPP O&M ได้แก่ โครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 6 บางปะอิน – นครราชสีมา เป็นต้น สัญญา PPP O&M รายได้จากการเก็บค่าผ่านทางจะเป็นของรัฐทั้งหมด โดยรัฐที่เป็นเจ้าของโครงการจะจ่ายผลตอบแทนให้กับภาคเอกชนในลักษณะอัตราเหมาจ่าย ซึ่งรวมเงินลงทุนสำหรับงานระบบและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาตลอดอายุสัญญา ซึ่งเป็นรูปแบบการร่วมลงทุนที่เรียกว่า PPP Gross Cost ความเสี่ยงของสัญญา PPP O&M ในรูปแบบ PPP Gross Cost นั้น รัฐเจ้าของโครงการยังต้องแบกรับความเสี่ยงด้านการตลาด (Market risk) เช่น สภาพเศรษฐกิจของประเทศและปริมาณจราจร เป็นต้น ส่วนเอกชนคู่สัญญารับความเสี่ยงด้านการต้นทุนในการลงทุนงานระบบ และต้นทุนในการดำเนินงานและบำรุงรักษาให้อยู่ในระดับที่ระบุในสัญญา (Operational risk) โดยสัญญา PPP O&M จะนำกลไกการจ่ายค่าตอบแทน (Payment mechanism) ที่เรียกว่า "Availability payment (AP)" โดย AP เป็นการจ่ายค่าตอบแทนตามสภาพความพร้อมใช้และคุณภาพของการให้บริการ (Performance-based) โดยค่าตอบแทนนี้อาจแบ่งการจ่ายเป็นรายเดือน รายไตรมาส และค่าตอบแทนในแต่ละงวดอาจมีการปรับลด (Deduction) ในกรณีที่ผู้ให้บริการ (Private operator) ไม่สามารถรักษาสภาพความพร้อมใช้ได้และคุณภาพของการให้บริการได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดในสัญญาได้ งานวิจัยนี้จึงต้องการเสนอตัวแบบเชิงคำนวณเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของผู้มีส่วนได้เสียหลักของสัญญา PPP Availability-based O&M ของโครงการทางหลวงระหว่างเมืองของประเทศไทย โดยผู้มีส่วนได้เสียหลักที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย (1) หน่วยงานรัฐเจ้าของโครงการ (2) เอกชนผู้ให้บริการ และ (3) สถาบันการเงินผู้ให้เงินกู้กับภาคเอกชน โดยตัวแบบเชิงคำนวณที่งานวิจัยนี้นำเสนอไปนั้น จะสามารถประเมินความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นในโครงการและเป็นแนวทางในการพัฒนาสัญญารูปแบบ PPP O&M นี้ต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: ตัวแบบเชิงคำนวณ, โครงการร่วมลงทุนระหว่างรัฐและเอกชน, สัญญาจ้างดำเนินงานและบำรุงดูแลรักษา, ค่าตอบแทนความพร้อมใช้, ผู้มีส่วนได้เสีย

Abstract

Public agencies around the world are increasingly welcoming the private sector to participate in infrastructure project delivery, commonly known as Public Private Partnership (PPP). One of the PPP arrangements that is being employed in the highway sector in Thailand is called Gross Cost PPP O&M in which the private operator is responsible for operation and maintenance of the project to meet performance specification and will be paid for a fixed sum of money over the contract period and the public agency is responsible for land acquisition, construction cost, and still bears the market risks such as tolled revenue risk. Examples of PPP O&M being employed by the Division of Inter-City Motorway #6 (Bang Pa-in - Nakhon Ratchasima). In PPP O&M contracts, payments made to the private operator is called "performance-based availability payment (AP)," where the future compensation for the operation will be based on actual performance. In addition, under this payment mechanism, the actual compensation will be adjusted by performance deduction to be calculated in each period (e.g., quarter) if the private operator fails to meet performance specifications of the contract. This article is to present a computational model of key stakeholders' risk analysis, namely, the public agency, the private operator, and lenders. The proposed computational model can be used to evaluate the risk profile of each stakeholder so as to help promote the employment of PPP O&M contracts in the future.

Keywords: Computational model, PPP, O&M contract, Availability payment, Stakeholders

1. บทนำ

ปัจจุบันรัฐได้เปิดโอกาสให้เอกชนเข้ามาร่วมลงทุนในโครงการของภาครัฐในรูปแบบของการจ้างดำเนินงานและบำรุงรักษาโครงการ (PPP O&M) ซึ่งรัฐรับผิดชอบในการลงทุนในการการก่อสร้างงานโยธา ส่วนเอกชนรับผิดชอบในการลงทุนในงานระบบและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาตลอดอายุโครงการ ตัวอย่างโครงการที่ใช้รูปแบบการร่วมลงทุนแบบ PPP O&M ได้แก่ โครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 6 บางปะอิน – นครราชสีมา และโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 81 บางใหญ่ – กาญจนบุรี เป็นต้น

สัญญา PPP O&M รายได้จากการเก็บค่าผ่านทางจะเป็นของรัฐทั้งหมด โดยรัฐที่เป็นเจ้าของโครงการจะจ่ายผลตอบแทนให้กับภาคเอกชนในลักษณะอัตราเหมาจ่าย ซึ่งรวมเงินลงทุนสำหรับงานระบบและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาตลอดอายุสัญญา ซึ่งเป็นรูปแบบการร่วมลงทุนที่เรียกว่า PPP Gross Cost ความเสี่ยงของสัญญา PPP O&M ในรูปแบบ PPP Gross Cost นั้น รัฐเจ้าของโครงการยังต้องแบกรับความเสี่ยงด้านการตลาด (Market risk) เช่น สภาพเศรษฐกิจของประเทศ ปริมาณจราจร และรายได้ในการจัดเก็บค่าผ่านทาง เป็นต้น ส่วนเอกชนคู่สัญญารับความเสี่ยงด้านการต้นทุนในการลงทุนงานระบบ และต้นทุนในการดำเนินงานและบำรุงรักษาให้อยู่ในระดับที่ระบุในสัญญา (Operational risk) เช่น สภาพผิวจราจรต้องอยู่ในระดับดีมาก ซึ่งกำหนดโดยใช้ค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) เป็นต้น

ทั้งนี้โครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 6 และ 81 ถือเป็นโครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านถนนแห่งแรกของประเทศไทยที่นำกลไกการจ่ายค่าตอบแทน (Payment mechanism) ที่เรียกว่า “Availability payment (AP)” ซึ่งมีการใช้แล้วในหน่วยงานรัฐในต่างประเทศ เช่น โครงการ Port of Miami Tunnel ในประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นต้น โดย AP เป็นการจ่ายค่าตอบแทนตามสภาพความพร้อมใช้และคุณภาพของการให้บริการ (Performance-based) โดยค่าตอบแทนนี้อาจแบ่งการจ่ายเป็นรายเดือน รายไตรมาส และค่าตอบแทนในแต่ละงวดอาจมีการปรับลด (Deduction) ในกรณีที่ผู้ให้บริการหรือบริษัทผู้รับสัมปทาน (Private operator หรือ Concessionaire) ไม่สามารถรักษาสภาพความพร้อมใช้ได้และคุณภาพของการให้บริการได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดในสัญญาได้

ความเสี่ยงด้านปริมาณจราจร ระยะเวลาในการเข้าถึง ระยะเวลาในการจัดการความพร้อมใช้ของถนน ต้นทุนในการก่อสร้าง ดำเนินงานและบำรุงรักษางานระบบ และอัตราคิดลด ถือเป็นตัวแปรเสี่ยงที่สำคัญที่ส่งผลต่อผลตอบแทนทางการเงินสุทธิทั้ง 3 ผู้มีส่วนได้เสียหลัก (Stakeholders) ของสัญญา PPP O&M ในรูปแบบ PPP Gross Cost ซึ่งได้แก่ (1) หน่วยงานรัฐเจ้าของโครงการ (2) เอกชนผู้ให้บริการ และ (3) สถาบันการเงินผู้ให้เงินกู้กับภาคเอกชน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอตัวแบบเชิงคำนวณเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของสัญญา PPP Availability-based O&M ของโครงการทางหลวงระหว่างเมืองของประเทศไทย ด้วยตัวแบบเชิงคำนวณนี้ซึ่งประกอบไปด้วยหลักการทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ตัวแปรเสี่ยง และนำเสนอหลักการสำหรับการวิเคราะห์ความเสี่ยงซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงระดับความเสี่ยงทางการเงินที่อาจเกิดขึ้นของแต่ละผู้มีส่วนได้เสียได้

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure)

โครงสร้างพื้นฐานโดยทั่วไป คือ สินทรัพย์ทางกายภาพ เครื่องมือสิ่งอำนวยความสะดวก ซึ่งเชื่อมโยงเข้าด้วยกันเป็นระบบผ่านการดำเนินการโดยผู้ให้บริการ ภายใต้ข้อจำกัดของโครงการ การบริหารจัดการ กฎหมายและข้อกำหนดต่าง ๆ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการพื้นฐานของประชาชน เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิต (Quality of life) และเพื่อพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจของประเทศ [1]

การก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานทางเศรษฐกิจ ให้มีความมั่นคงและมีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นต้องมีการดำเนินการ ทั้งการก่อสร้าง การจ้างบุคลากรด้านต่างๆ อีกทั้งการก่อสร้างโครงการยังประกอบด้วยงานระบบที่จำเป็นต่อการดำเนินโครงการ ตลอดจนการดำเนินงานและบำรุงรักษาตลอดช่วงอายุของโครงสร้างพื้นฐาน โครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่หลายโครงการจึงมีความต้องการเงินลงทุนที่สูง การลงทุนจากภาครัฐเพียงฝ่ายเดียวอาจไม่สามารถระดมเงินทุนได้เพียงพอ เนื่องจากข้อจำกัดในด้านการระดมทุนและการดำเนินนโยบายด้านการลงทุนที่ต้องคำนึงถึงเสถียรภาพการคลังของประเทศด้วย อีกทั้งภาระที่เกิดจากการกู้ยืมซึ่งจะก่อให้เกิดหนี้สาธารณะที่สูงขึ้น จึงก่อให้เกิดการให้ภาคเอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน หรือที่เรียกว่า โครงการร่วมทุนระหว่างรัฐและเอกชน (Public-Private Partnership หรือ PPP) เพื่อแก้ปัญหาในส่วนนี้ อีกทั้งยังส่งผลดีต่อภาครัฐในแง่อื่นอีกด้วย เช่น การสร้างงานในภาคการก่อสร้าง การหมุนเวียนของเงินในระบบเศรษฐกิจจากกิจกรรมการก่อสร้าง และการเพิ่มขีดความสามารถของประเทศในด้านพร้อมของปัจจัยในการผลิตและขนส่งหรือกระจายสินค้า เป็นต้น

2.2 สัญญาร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชน (PPP)

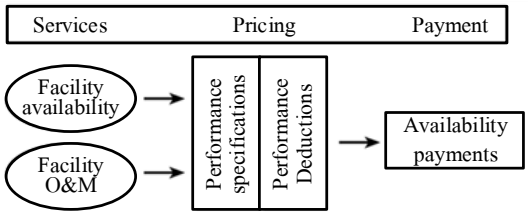
สัญญาร่วมทุนระหว่างภาครัฐและเอกชน (Public-Private Partnership) หรือ PPP เป็นสัญญาระยะยาว (Long-term contract) ที่มีการแบ่งสรรความเสี่ยงที่เหมาะสมระหว่างรัฐและเอกชน (Proper risk allocation) เพื่อผลประโยชน์ร่วมกันทั้งสองฝ่าย [2] ซึ่งภาคเอกชนหรือบริษัทสัมปทานเป็นผู้ดำเนินการโครงการแทนรัฐตามเงื่อนไขข้อตกลงของสัญญา โดยรูปแบบของสัญญา PPP นั้นมีหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น BTO (Build-Transfer-Operate), BOT (Build-Operate-Transfer), BOO (Build-Own-Operate) และ DBOM (Design-Build-Operate-Maintenance) เป็นต้น ซึ่งเกิดจากการรวมกันของสัญญาย่อยหลาย ๆ สัญญาเข้าด้วยกัน ซึ่งการรวมสัญญาเข้าด้วยกัน (Contract bundling) โดยภาคเอกชนผู้ได้รับการว่าจ้างจะต้องเป็นผู้ดำเนินการและบำรุงรักษาโครงการ นอกจากนี้ภาคเอกชนยังต้องเป็นผู้ออกแบบ (Design) ก่อสร้าง (Construct) และจัดหาแหล่งเงินทุนอีกด้วย (Financing) โดยวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้เกิดการประหยัดของต้นทุนรวมตลอดอายุโครงการ (Life cycle cost) เนื่องจากเอกชนที่ได้รับสัมปทานจะมุ่งเน้นในช่วงออกแบบและก่อสร้าง (Design and Construction Phase) ให้มีประสิทธิภาพ เพื่อลดต้นทุนในช่วงดำเนินงานและบำรุงรักษา (O&M Phase) [3] นอกจากนี้ยังเป็นการกำหนดแรงจูงใจของผู้ออกแบบ บริษัทก่อสร้าง และบริษัทผู้ให้บริการที่สอดคล้องกันอีกด้วย (Alignment of incentives among designers, contractors, and operators)

2.3 Availability Payments (AP)

การจ่ายค่าตอบแทนจากการให้บริการ (Availability Payment) ถือเป็นกลไกสำคัญระหว่างภาครัฐและเอกชนผู้ให้บริการ ที่มุ่งเน้นไปที่การให้บริการของภาคเอกชน แทนการให้ความสำคัญของลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างพื้นฐาน โดยหัวใจหลักของวิธีการจ่ายค่าตอบแทนจากการให้บริการ คือ “การให้บริการ” ที่เป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนดด้านสมรรถนะหรือผลของการให้บริการ (Performance-based Specification) [4]

ประโยชน์ของสัญญา PPP ที่เป็นแบบ AP ก็เพื่อสร้างแรงจูงใจให้ภาคเอกชนรักษาระดับการให้บริการให้เป็นไปตาม “เกณฑ์คุณภาพการให้บริการตามมาตรฐานที่กำหนด” ส่งผลให้เกิดความปลอดภัยและประสิทธิภาพของการพัฒนาและบริหารโครงการโดยรวม นอกจากนี้แล้วรัฐยังได้ประโยชน์จากการแข่งขันด้านราคาของภาคเอกชนในการประมูลสัญญา โดยนำเทคโนโลยีในการก่อสร้างและบริหารโครงการมาใช้ในการลดต้นทุนในการดำเนินงาน โดยราคาที่เสนอต่ำสุดจะถือเป็นต้นทุนสูงสุดที่รัฐต้องจ่ายทั้งหมดตลอดอายุโครงการ (Lock-in maximum cost to the public) [5]

ในการการจ่ายค่าตอบแทนจากการให้บริการนั้น มีองค์ประกอบหลัก คือ (1) การวัดระดับและคุณภาพของการให้บริการ (Level of services and quality measurement) และ (2) การคิดค่าตอบแทน (Pricing) ตามระดับและคุณภาพของการให้บริการ ดังแสดงใน **ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง**



รูปที่ 1 องค์ประกอบและปัจจัยในการคำนวณการจ่ายค่าตอบแทนจากการให้บริการ
ที่มา : ปรับปรุงข้อมูลจาก Ahmed (2007) [6]

จากรูปที่ 1 องค์ประกอบแรกยังประกอบไปด้วย 2 องค์ประกอบย่อย ได้แก่

1) ความพร้อมในการให้บริการ (Facility availability) หมายถึง สินทรัพย์ต้องอยู่ในสถานะพร้อมให้บริการ เช่น ปริมาณช่องจราจรที่เปิดให้บริการ เป็นต้น

2) การดำเนินงานและบำรุงรักษาที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่ตกลงกันในสัญญา (Facility O&M) โดยเมื่อมีการให้บริการ ผู้ให้บริการจะต้องดำเนินงานและบำรุงรักษาตามเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพจากการใช้งานและความปลอดภัย เช่น สภาพผิวจราจร ที่กำหนดโดยดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) เป็นต้น

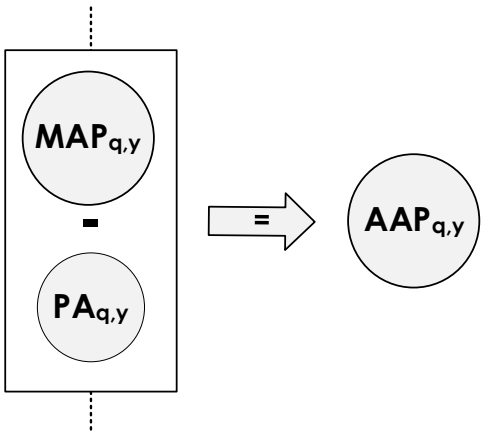
โดยในขั้นตอนนี้ รัฐเจ้าของโครงการต้องมีการวัดและตรวจสอบระดับและคุณภาพของการให้บริการ ว่าเป็นไปตามเกณฑ์คุณภาพที่กำหนดในสัญญาหรือไม่ หากเอกชนผู้ให้บริการดำเนินการที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด หน่วยงานภาครัฐเจ้าของโครงการจะประเมิน “มูลค่าการปรับลดค่าตอบแทน (Deduction หรือ Adjustment)” ทั้งนี้เพื่อเป็นแรงจูงใจให้เอกชนผู้ให้บริการดำเนินงานและบำรุงรักษาโครงการ ให้เป็นไปตามเกณฑ์ด้านคุณภาพ อย่างไรก็ตาม การปรับลดค่าตอบแทนนั้น ควรมีความเหมาะสมและเป็นธรรมกับทั้งภาครัฐเจ้าของโครงการและภาคเอกชน เพื่อให้การพัฒนาโครงการที่มีประสิทธิภาพและได้ประโยชน์ทั้งสองฝ่าย (Win-win situation)

องค์ประกอบที่สอง คือ คำนวณการจ่ายค่าตอบแทน (Pricing) โดยใช้เกณฑ์หรือดัชนีต่าง ๆ ที่ระบุในสัญญา (Performance specification) ประกอบในการคำนวณค่าตอบแทนที่แท้จริง โดยขั้นตอนนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนย่อย ได้แก่

(1) การคำนวณค่าตอบแทนจากการให้บริการสูงสุด (Maximum Availability Payment หรือ MAP) สำหรับช่วงเวลานั้น ๆ

(2) การคำนวณการปรับลดค่าตอบแทนจากการให้บริการ (Performance Adjustment หรือ PA) สำหรับช่วงเวลานั้น ๆ

โดย Aziz and Abdelhalim [7] ได้อธิบายถึงองค์ประกอบของการจ่ายค่าตอบแทนดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 องค์ประกอบของการจ่ายค่าตอบแทนของสัญญา PPP O&M
ที่มา :ปรับปรุงข้อมูลจาก Aziz and Abdelhalim

จากรูปที่ *2* จะเห็นว่า ค่าตอบแทนแท้จริงของการให้บริการ (Actual availability payment, AAP) ที่ภาคเอกชนผู้ให้บริการจะได้รับในแต่ละช่วงเวลา (ไตรมาส q สำหรับปีที่ y) มีค่าเท่ากับค่าตอบแทนจากการให้บริการสูงสุด (MAP) หักค่าปรับลดค่าตอบแทน (PA)

3. ตัวแบบทางการเงินของผู้มีส่วนได้เสียหลัก (Financial Models)

ในการศึกษานี้กำหนดขอบเขตการประเมินผลตอบแทนของผู้ที่มีส่วนได้เสียเฉพาะที่เป็นตัวเงินเท่านั้น (Financial evaluation) โดยผลตอบแทนทางการเงินของผู้มีส่วนได้เสียหลัก 3 ส่วนที่สำคัญที่

เกี่ยวข้องกับสัญญา PPP O&M ในรูปแบบ PPP Gross Cost ได้แก่ (1) รัฐเจ้าของโครงการ (2) เอกชนผู้ให้บริการ (3) ผู้ให้เงินกู้ (Lenders) รายละเอียดเป็นดังต่อไปนี้

3.1 ผลตอบแทนทางการเงินของรัฐเจ้าของโครงการ (Public agency)

ในการศึกษานี้ศึกษาเฉพาะต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงิน ยังไม่ได้รวมต้นทุนและประโยชน์ทางสังคมและเศรษฐกิจ โดยตัวแบบทางการเงินของรัฐเจ้าของโครงการ (Public agency) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$Y_P = \sum_{t=1}^{t=Tc+To} \frac{-I_t - CR_t - ACQ_t + (AADT_t \times TR_t) - OMP_t}{(1+r_p)^t}$$

โดย Y_P = มูลค่าปัจจุบันสุทธิทางการเงิน (Financial NPV) ของรัฐเจ้าของโครงการ; I_t = เงินลงทุนของรัฐเจ้าของโครงการ ในปีที่ t; CR_t = เงินสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างงานระบบ (System construction repayment) ปีที่ t; ACQ_t = ค่าใช้จ่ายในการจัดกรรมสิทธิ์ที่ดินในปีที่ t; $AADT_t$ = ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันของโครงการ ในปีที่ t ; OMP_t = ค่าตอบแทนของเอกชนจากการดำเนินงาน (Operation & maintenance payment) ปีที่ t; TR_t = อัตราค่าผ่านทางเฉลี่ยต่อคัน ในปีที่ t; r_p = อัตราคิดลดของโครงการภาครัฐ (Public project discount rate); Tc = ระยะเวลาในการก่อสร้างทั้งหมด (ปี); To = ระยะเวลาในการดำเนินงาน (ปี)

3.2 ผลตอบแทนทางการเงินของเอกชนผู้ให้บริการ (Private Operator)

ตัวแบบทางการเงินของเอกชนผู้ให้บริการ (Private operator) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$Y_O = \sum_{t=1}^{t=Tc+To} \frac{-C_t - F_t + (CR_t + OMP_t - PA_t) - OM_t - DS_t - Tax_t}{(1+r_E)^t}$$

โดย Y_O = ผลตอบแทนทางการเงินของเอกชนผู้ให้บริการ (Private operator); C_t = เงินลงทุนของเอกชน ในปีที่ t;F_t = ค่าใช้จ่ายในการจัดหาเงินทุนและประกันของเอกชน(ประมาณ 2% ของเงินลงทุนงานระบบ) (Financing fees) ในปีที่ t; CR_t = เงินสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างงานระบบ (System construction repayment) ปีที่ t; OMP_t = ค่าตอบแทนจากการดำเนินงาน (Operation & maintenance payment) ปีที่ t; PA_t = เงินปรับลดจากการดำเนินงาน (Payment adjustment) ในปีที่ t; OM_t = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ในปีที่ t; DS_t = เงินจ่ายคืนเงินกู้ (Debt service) ในปีที่ t; Tax_t = ภาษีจ่าย ในปีที่ t; r_E = อัตราคิดลด หรือ อัตราผลตอบแทนของเอกชน (Risk-adjusted discount rate)

3.3 เกณฑ์ทางการเงินของผู้ให้เงินกู้

สำหรับสถาบันการเงินที่สนับสนุนเงินกู้ให้กับเอกชนผู้ให้บริการ เกณฑ์ที่ใช้พิจารณาการให้กู้มีหลายอย่าง ในการศึกษานี้เลือกใช้ ค่า Debt service coverage ratio (DSCR) โดยระยะเวลาในการกู้ต้องน้อยกว่าระยะเวลาสัญญา และมีค่า DSCR ในแต่ละปีที่มากกว่า 1 โดยสมการ DSCR เป็นดังนี้

$$DSCR_t = \frac{FCF_t}{DS_t}$$

โดย FCF_t คือ กระแสเงินสดอิสระ (Free cash flow)

สำหรับเจ้าหนี้และเจ้าของ โดยมีสมการเป็น $FCF_t = -C_t - F_t + (CR_t + OMP_t - PA_t) - OM_t$; DS_t คือ หนี้ที่ต้องชำระคืนในปีที่ t โดยคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$DS_t = D \times \left[\frac{r_D \times (1+r_D)^n}{(1+r_D)^n - 1}\right]$$

เมื่อ r_D = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ (Interest rate) และ n คือ ระยะเวลาในการกู้ (ปี)

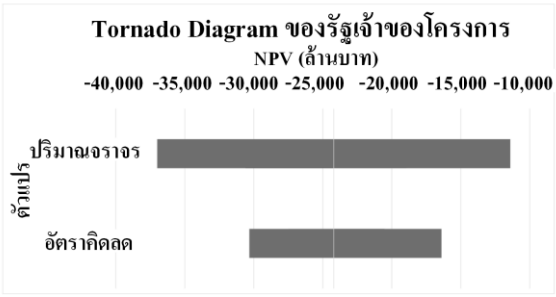
4. การวิเคราะห์ความเสี่ยงของโครงการ (Risk analysis)

4.1 การระบุตัวแปรเสี่ยง (Risk identification)

ในการศึกษานี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) ในการระบุตัวแปรเสี่ยงที่สำคัญ โดยจากตัวแบบทางการเงินในหัวข้อที่ 4 มีตัวแปรทั้งหมด 4 ตัวแปร

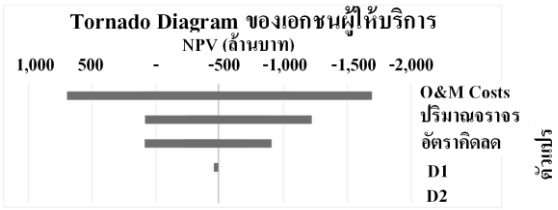
- ปริมาณจราจร (AADT)
- การปรับลดค่าตอบแทน (PA)
  - ระยะเวลาในการจัดการความพร้อมใช้ของสายทาง (D1)
  - ระยะเวลาในการเข้าถึงอุบัติเหตุ (D2)
- ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงดูแลรักษา (O&M costs)
- อัตราคิดลด (discount rate)

ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) ของภาครัฐและเอกชนเป็นดังแสดงในรูปที่ 3 และของภาคเอกชนดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 Sensitivity Analysis ของภาครัฐ

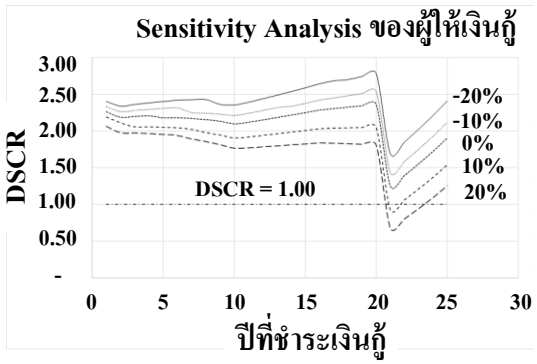
อันดับปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อผลตอบแทนของภาครัฐคือ (1) ปริมาณจราจร (2) อัตราคิดลด



รูปที่ 4 *Sensitivity Analysis ของภาคเอกชน*

จากรูปที่ 4 อันดับปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อผลตอบแทนของภาคเอกชนคือ (1) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา (2) ปริมาณจราจร (3) อัตราคิดลด (4) ระยะเวลาในการจัดการความพร้อมใช้ของสายทาง (5) ระยะเวลาในการเข้าถึงอุบัติเหตุ

ผู้ให้กู้มีปัจจัยเสี่ยงเหมือนกับภาคเอกชนยกเว้นอัตราคิดลด โดยผลตอบแทนของผู้ให้กู้พิจารณาจาก DSCR ของแต่ละปีต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1.00 ตัวอย่าง Sensitivity Analysis ของผู้ให้กู้ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 Sensitivity Analysis ของผู้ให้กู้จากปัจจัยเสี่ยงทางด้านค่าใช้จ่ายในการ O&M

ปัจจัยเสี่ยงอื่นนั้นมีการวิเคราะห์ในทำนองเดียวกัน โดยอันดับปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อผลตอบแทนของผู้ให้กู้คือ (1) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา (2) ปริมาณจราจร (3) ระยะเวลาในการจัดการความพร้อมใช้ของสายทาง (4) ระยะเวลาในการเข้าถึงอุบัติเหตุ

4.2 การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของตัวแปรเสี่ยง (Risk Modelling)

ตัวแปรเสี่ยงในโครงการที่ส่งผลต่อการเงินของโครงการสามารถสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของตัวแปรเสี่ยงดังต่อไปนี้

4.2.1 *ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันของโครงการ (Average annual daily traffic, AADT)*

ปริมาณด้านจราจรเป็นตัวแปรที่ส่งผลโดยตรงถึงการเงินของโครงการของภาครัฐ โดยในการศึกษานี้ใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Geometric Brownian motion (GBM) ในการพยากรณ์ปริมาณจราจรในอนาคตของโครงการ โดยสมการ GBM เป็นดังต่อไปนี้

$$dX_y = \mu X_y dy + \sigma X_y dz$$

โดยที่ $dZ = \varepsilon_y \sqrt{dt}$; $\varepsilon_y = \sim N(0,1)$; X_y = ปริมาณจราจรปีที่ y; μ = ค่าอัตราการเพิ่มขึ้น *(Drift rate)* ของตัวแปรสุ่ม X_y; σ = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรสุ่ม X_y; $dy = \frac{T}{n}$; T = จำนวนปีของสัญญา; n = จำนวนครั้งของ *time step* ในช่วงเวลา T

นอกจากนี้ปริมาณจราจรยังส่งผลเกี่ยวเนื่องกับการปรับลดค่าตอบแทน (PA) และต้นทุนสำหรับค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา (O&M costs) อีกด้วย

4.2.2 *การปรับลดค่าตอบแทนจากการให้บริการ (Payment Adjustment หรือ PA)*

การปรับลดค่าตอบแทนจากการให้บริการนั้น เป็นตัวเสี่ยงซึ่งส่งผลต่อการเงินของโครงการของ ภาคเอกชนผู้ให้บริการโดยมีปัจจัยในการปรับลดค่าตอบแทนดังแสดงในสมการ [8]

$$QPA_{q,y} = QUT_{q,y} + QOV_{q,y} + QED_{q,y}$$

$QUT_{q,y}$ คือ การปรับลดค่าตอบแทนจากความไม่พร้อมใช้ของสายทาง โดยภาคเอกชนผู้ให้บริการจะต้องดำเนินการสายทางให้มีความพร้อมใช้อยู่ตลอดเวลา สามารถคำนวณค่าปรับได้ดังสมการที่ *1*

$$QUT_{q,y} = (\sum_i Deduction)_{q,y} \times \frac{CCPI_{q,y}}{RCPI} \quad (1)$$

โดยที่ $(\sum_i Deduction)_{q,y}$ คือผลรวมของจำนวนเงินที่ถูกปรับลดค่าตอบแทน ไตรมาสที่ q ปีที่ y

$CCPI_{q,y}$ คือดัชนีราคาผู้บริโภคในไตรมาสที่ q ปีที่ y
$RCPI$ คือดัชนีราคาผู้บริโภคอ้างอิง

โดยเกณฑ์ในการคิดค่าปรับลด *(Deduction)* จะคิดจาก *2* ปัจจัย คือ *(1)* ปริมาณจราจร และ *(2)* ระยะเวลาของถนนที่ไม่พร้อมใช้งาน ซึ่งระบุในสัญญาในแต่ละโครงการ สำหรับโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 6 ได้ระบุเกณฑ์ในการคิดค่าปรับลดระบุดังแสดงใน

Unit: บาทต่อช่วงเวลา

ปริมาณจราจรต่อทิศทางจราจร (pcu/hr)	ระยะเวลาของความไม่พร้อมใช้ (D1) ของถนน 4 ช่องจราจร			
	1 - 15 นาที	16 - 30 นาที	31 - 45 นาที	46 - 60 นาที
1000 หรือน้อยกว่า	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
1500	4,400	17,200	38,600	68,500
2000	15,700	62,600	140,800	250,300
2500	36,500	145,700	327,800	582,700
3000	84,000	335,800	755,300	1,342,800
มากกว่า 3000	130,100	520,300	1,170,700	2,081,100

ตารางที่ ***1*** และตารางที่ *2*

Unit: บาทต่อช่วงเวลา

ปริมาณจราจรต่อทิศทางจราจร (pcu/hr)	ระยะเวลาของความไม่พร้อมใช้ (D1) ของถนน 4 ช่องจราจร			
	1 - 15 นาที	16 - 30 นาที	31 - 45 นาที	46 - 60 นาที
1000 หรือน้อยกว่า	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
1500	4,400	17,200	38,600	68,500
2000	15,700	62,600	140,800	250,300
2500	36,500	145,700	327,800	582,700
3000	84,000	335,800	755,300	1,342,800
มากกว่า 3000	130,100	520,300	1,170,700	2,081,100

ตารางที่ 1 การคิดค่าปรับลดจากความไม่พร้อมใช้ของถนน 4 ช่องจราจร

Unit: บาทต่อช่วงเวลา

ปริมาณจราจรต่อทิศทางจราจร (pcu/hr)	ระยะเวลาของความไม่พร้อมใช้ (D1) ของถนน 6 ช่องจราจร			
	1 - 15 นาที	16 - 30 นาที	31 - 45 นาที	46 - 60 นาที
2000 หรือน้อยกว่า	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
2500	900	3,100	6,900	12,100
3000	5,700	22,200	49,900	88,500
3500	12,600	50,400	113,300	201,300
4000	23,700	94,700	212,800	378,200
มากกว่า 4000	82,600	329,800	742,000	1,319,200

ตารางที่ 2 การคิดค่าปรับลดจากความไม่พร้อมใช้ของถนน 6 ช่องจราจร

$QOV_{q,y}$ คือ การปรับลดค่าตอบแทนจากการดำเนินงานและบำรุงรักษาที่ไม่เป็นไปเกณฑ์ที่กำหนด โดยที่การปรับลดค่าตอบแทนคิดจากคะแนนสำหรับการปรับลด (Demerit Point) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้พิจารณาการปรับลดค่าตอบแทน 2 ปัจจัยคือ 1. การเข้าถึงอุบัติเหตุในสายทาง 2. การดูแลรักษาความขรุขระของผิวถนน เกณฑ์ในการคิดคะแนนสำหรับการปรับลดค่าตอบแทนของทั้งสองปัจจัย สำหรับโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 6 การปรับลดค่าตอบแทนจากการดำเนินงานและบำรุงรักษาที่ไม่เป็นไปเกณฑ์ที่กำหนดเป็นดังแสดงใน

ตารางที่ **3** และตารางที่ 4

คำอธิบาย	ค่าที่ใช้วัด	แต้มปรับลด
ระยะเวลาที่ใช้ในการเข้าถึงอุบัติเหตุ (D2) โดยต้องเข้าถึงอุบัติเหตุภายใน 30 นาที	≥ 95 % ถึง ≤ 100 % ของจำนวนอุบัติเหตุ	0
	≥ 90 % ถึง ≤ 95 % ของจำนวนอุบัติเหตุ	50
	≥ 855 % ถึง ≤ 90 % ของจำนวนอุบัติเหตุ	100
	< 85 % ของจำนวนอุบัติเหตุ	150

ตารางที่ 3 การคิดคะแนนสำหรับการปรับลดค่าตอบแทนจากการเข้าถึงอุบัติเหตุในสายทาง

คำอธิบาย	ค่าที่ใช้วัด	แต้มปรับลด
ค่าเฉลี่ยความขรุขระของผิวจราจรทุก 1,000 เมตร	ค่า IRI ไม่เกิน 3.5 เมตร/กม.	400 แต้มต่อช่องจราจรต่อ 1 กิโลเมตร

ตารางที่ 4 การคิดคะแนนสำหรับการปรับลดค่าตอบแทนจากการดูแลรักษาความขรุขระของผิวถนน

คะแนนสำหรับการปรับลดค่าตอบแทนในแต่ละกรณีจะถูกนำมาคิดเป็นค่าปรับดังแสดงในสมการที่ *2*

$$QOV_{q,y} = (\sum_i VDPs)_{q,y} \times 0.002\% \times OMLP_{q,y} \quad (2)$$

โดย $QOV_{q,y}$ = การปรับลดค่าตอบแทนจากการดำเนินงานและบำรุงรักษาที่ไม่เป็นไปเกณฑ์ในไตรมาสที่ q ปีที่ y; $\sum_i VDP_{q,y}$= ผลรวมของคะแนนสำหรับการปรับลด (Violation Demerit Points) ในไตรมาสที่ q ปีที่ y; $OMLP_{q,y}$ = ค่าตอบแทนจากการดำเนินงานและบำรุงรักษาในไตรมาสที่ q ปีที่ y

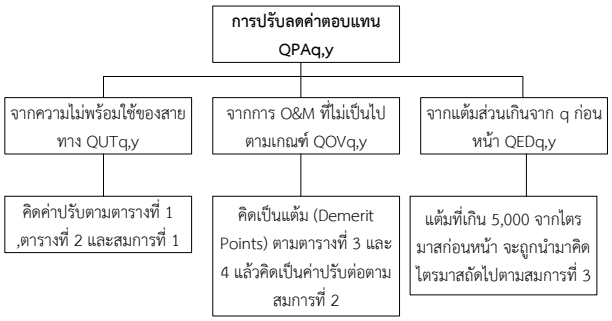
สำหรับโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 6 คะแนนสำหรับการนำมาคิดค่าปรับนั้น จะถูกจำกัดไว้ไม่เกิน 5,000 คะแนนต่อไตรมาส โดยคะแนนส่วนเกินจะนำมาคิดสำหรับการปรับลดค่าตอบแทนในไตรมาสถัดไป

ส่วน $QED_{q,y}$ คือ การปรับลดค่าตอบแทนอันเนื่องมาจากคะแนนส่วนเกินจากไตรมาสก่อนหน้าโดยสามารถคำนวณการปรับลดค่าตอบแทนได้ดังสมการที่ 3

$$QED_{q,y} = EDPs \times 0.002\% \times OMLP_{q,y} \quad (3)$$

โดย $QED_{q,y}$ = การปรับลดค่าตอบแทนจากคะแนนส่วนเกินจากไตรมาสก่อนหน้า; $EDPs$ = คะแนนส่วนเกินจากไตรมาสก่อนหน้า (Excess Demerit Points); $OMLP_{q,y}$ = ค่าตอบแทนจากการดำเนินงานและบำรุงรักษาในไตรมาสที่ q ปีที่ y

การปรับลดค่าตอบแทนสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนภาพสรุปการปรับลดค่าตอบแทน

4.2.3 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาโครงการตลอดอายุขัยของสัมปทาน (O&M Costs)

การดำเนินงานและบำรุงรักษานั้นส่งผลต่อการเงินของโครงการของภาคเอกชนผู้ให้บริการ โดยที่ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาขึ้นอยู่กับปริมาณจราจรในโครงการ (AADT) สามารถคิดได้ดังสมการ

$$OM_y = FC_y + (VC_y x\ AADT_y) + AC_y$$

โดย OM_y = ค่าใช้จ่ายรวมในการดำเนินงานและบำรุงรักษาในปีที่ y; FC_y = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาคงที่ (Fixed Cost) ในปีที่ y; VC_y = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาแปรผัน (Variable Cost) ในปีที่ y; $AADT_y$ = ปริมาณจราจรรวมในปีที่ y; AC_y = ค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในกรณีที่มีการซ่อมบำรุงที่ไม่ได้เกณฑ์มาตรฐานความเรียบของผิวทาง (Added Cost) ในปีที่ y

4.2.4 อัตราคิดลด (Discount Rate)

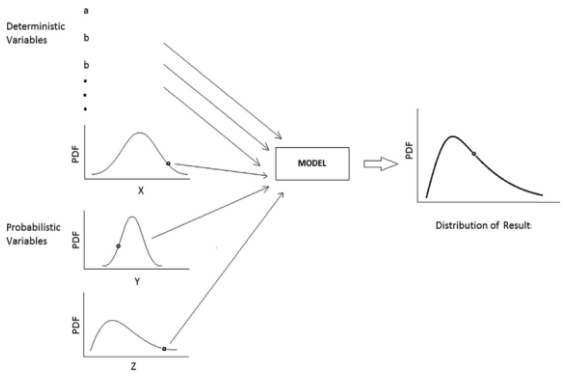
อัตราคิดลดสำหรับรัฐเจ้าของโครงการนั้น พิจารณาจากอัตราพันธบัตรรัฐบาลระยะยาว ร้อยละ 4.00

อัตราคิดลดของภาคเอกชนผู้ให้บริการนั้น พิจารณาจากกรณีผลตอบแทนสูงสุดของภาครัฐ ซึ่งเป็นอัตราที่ปรับให้เหมาะสมกับความเสี่ยงของต้นทุนเงินทุน (Risk adjusted Cost of Capital) อ้างอิงจาก Final Repot – Strategic Intercity Motorway Network Project – TA7483 จัดทำโดยกรมทางหลวงและธนาคารพัฒนาเอเชีย (Asian Development Bank: ADB) เท่ากับร้อยละ 8.60 ต่อปี

4.3 การวิเคราะห์ความเสี่ยงของผู้มีส่วนได้เสียหลักโดยวิธี Monte Carlo Simulation

การวิเคราะห์ความเสี่ยงด้วยวิธีมอนติคาร์โล คือ เครื่องมือในการสร้างการสุ่มตัวเลขซึ่งมีประโยชน์ในด้านการพยากรณ์ การประมาณค่า และการวิเคราะห์ความเสี่ยง โดยวิธีการจำลองคือการสุ่มค่าแบบซ้ำไปซ้ำมาจากการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ถูกกำหนด แล้วใช้ค่าสุ่มเหล่านั้นในการทำรูปแบบจำลอง [9]

การจำลองมอนติคาร์โลสามารถแสดงเป็นแผนภาพที่มีตัวแปรประเภท Deterministic และ Probabilistic ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนภาพการจำลองมอนติคาร์โล
ที่มา : Vu et al. [10]

ตัวแปรแต่ละประเภทคือชุดข้อมูลที่มีการแจกแจงที่ต่างกัน นำมาสร้างโมเดลแล้ววิเคราะห์หาผลลัพธ์ (Output) ซ้ำไปมาตามจำนวนครั้งที่ได้กำหนดไว้ (Trials Simulated) ผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละครั้งที่จำลองจะถูกนำมาเข้ากระบวนการทางสถิติเพื่อวิเคราะห์หาการแจกแจงของโมเดล

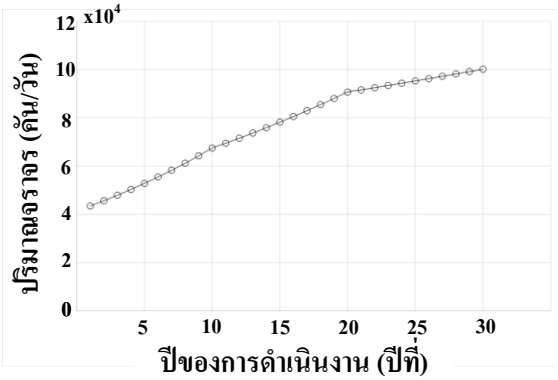
ในการวิเคราะห์ผลกระทบทางการเงินต่อโครงการของงานวิจัยนี้ วิธีจำลองมอนติคาร์โลใช้เพื่อให้แสดงถึงความไม่แน่นอนของผลลัพธ์จากการพยากรณ์ ทำให้เห็นถึงความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นต่อทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน และผู้ให้กู้ แล้วดำเนินการจัดการความเสี่ยงนั้นให้โครงการมีเสถียรภาพทางการเงินที่มั่นคง

5. การพยากรณ์ตัวแปร

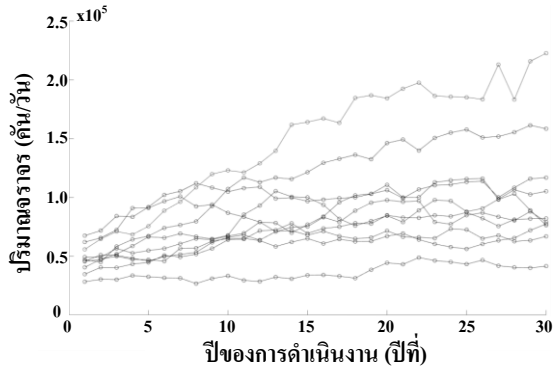
จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอในหัวข้อ 4.2 และวิธี Monte Carlo simulation โดยใช้ MATLAB สามารถแสดงผลการพยากรณ์ตัวแปรเสี่ยงที่สำคัญของโครงการได้ดังนี้

5.1 การพยากรณ์ปริมาณจราจร (AADT)

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาข้อมูลปริมาณจราจรโดยใช้ระบบ NAM และ SAM [11] สำหรับการพยากรณ์ที่เป็นแบบ Deterministic ดังแสดงในรูปที่ 8 และใช้สมการ Stochastic process ที่เรียกว่า Geometric Brownian motion (GBM) ตัวอย่างของผลที่ได้จากการพยากรณ์ปริมาณจราจรโดยใช้ MATLAB เป็นดังแสดงในรูปที่ 9



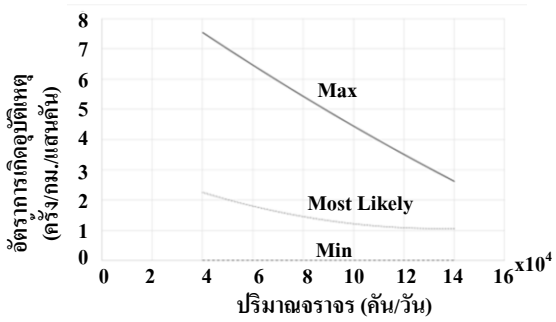
รูปที่ 8 กราฟแสดงปริมาณจราจรในอนาคตด้วยวิธี NAM และ SAM



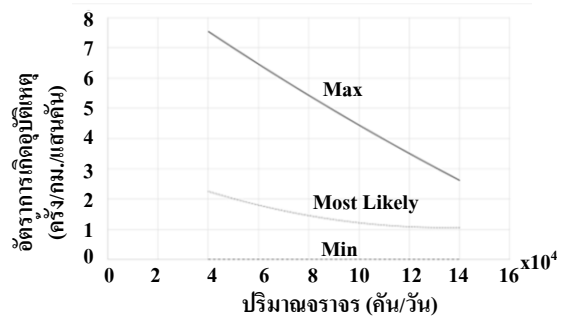
รูปที่ 9 ตัวอย่างการพยากรณ์ปริมาณจราจรในอนาคตในจากปีที่ 1 ถึงปีที่ 30 จำนวน 10 ครั้ง (10 simulated paths)

5.2 การพยากรณ์การเกิดอุบัติเหตุ

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์อุบัติเหตุในโครงการจากค่าสถิติการเกิดอุบัติเหตุในทางหลวงทั่วประเทศไทยจำนวน 90 สายทาง พร้อมทั้งใช้ Envelope Method [12] สำหรับการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของอุบัติเหตุ โดยแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์อุบัติเหตุดังแสดงใน

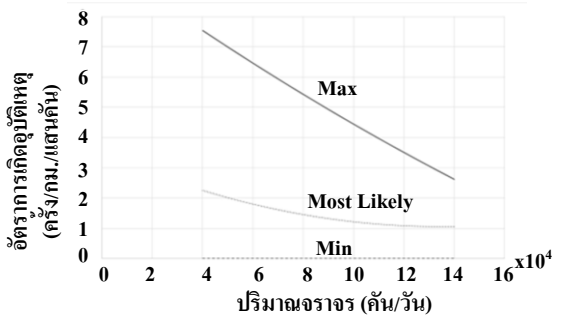


รูปที่ *10*



รูปที่ 10 กราฟแสดงอัตราการเกิดอุบัติเหตุต่อปริมาณจราจร

จ า ก

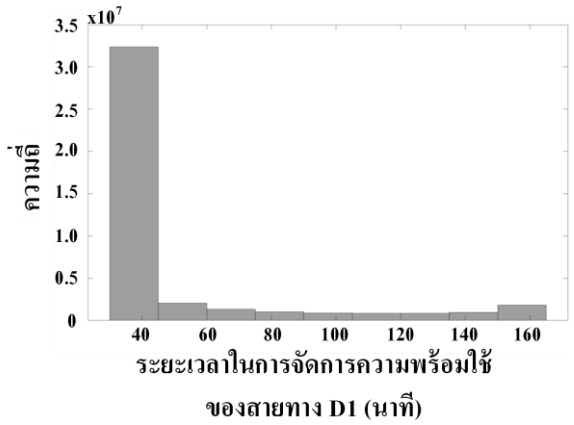


รูปที่ *10* สามารถพยากรณ์อัตราการเกิดอุบัติเหตุได้ตัวอย่างเช่น สมมุติปริมาณจราจรในอนาคตอยู่ที่ 60,000 คันต่อวัน ฉะนั้นแล้วอัตราการเกิดอุบัติเหตุจะมี “ค่าที่เป็นไปได้มากที่สุด” (Most Likely) ประมาณ 1.8 ครั้งต่อปีต่อกิโลเมตรต่อปริมาณจราจร 1 แสนคัน แต่จะไม่น้อยกว่าค่าน้อยที่สุด (Min) 0 ครั้ง และไม่เกินค่ามากที่สุด (Max) 6.5 ครั้ง

5.3 การพยากรณ์ระยะเวลาการจัดการความพร้อมใช้ของสายทาง (D1)

จากอัตราการเกิดอุบัติเหตุที่กล่าวมา เมื่อได้ผลลัพธ์แล้ว จะต้องทำการพยากรณ์ระยะเวลาในการจัดการความพร้อมใช้ของสายทาง (D1) ของแต่ละครั้งที่เกิดอุบัติเหตุ โดยงานวิจัยนี้ได้พยากรณ์ระยะเวลาในการจัดการความพร้อมใช้ของสายทาง จากข้อมูลสถิติของระยะเวลาในการจัดการกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ 3,644 ครั้ง ในโครงการทางหลวงพิเศษ

ระหว่างเมืองหมายเลข 7 โดยมีผลการพยากรณ์แสดงในรูปของการกระจายตัวของระยะเวลาแสดงในรูปที่ 11



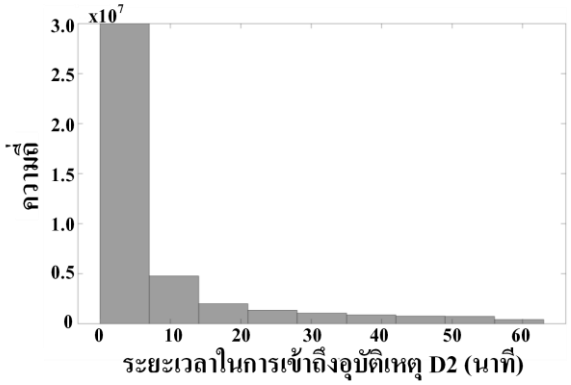
รูปที่ 11 กราฟแสดงความถี่ของระยะเวลาในการจัดการความไม่พร้อมใช้ของสายทาง

จากรูปที่ 11 มีลักษณะการกระจายตัวของกราฟที่มีความเบ้ (Skewness) และความโด่ง (Kurtosis) ดังนั้นแล้วจึงพยากรณ์หาระยะเวลาในการจัดการความไม่พร้อมใช้ของสายทางได้จากค่าทางสถิติของกราฟ

ระยะเวลาจัดการความพร้อมใช้ของสายทางที่ได้จากการพยากรณ์นั้น จะนำไปคำนวณถึงการปรับลดค่าตอบแทนตามตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ต่อไป

5.4 การพยากรณ์ระยะเวลาในการเข้าถึงอุบัติเหตุในสายทาง (D2)

ในทำนองเดียวกันนั้น เมื่อหาอัตราการเกิดอุบัติเหตุได้แล้ว จึงต้องหาระยะเวลาในการเข้าถึงอุบัติเหตุในสายทาง (D2) ของแต่ละครั้งที่เกิดอุบัติเหตุ งานวิจัยนี้ได้พยากรณ์ระยะเวลาในการเข้าถึงอุบัติเหตุในสายทาง โดยได้นำข้อมูลสถิติของระยะเวลาในการเข้าถึงอุบัติเหตุที่เกิดอุบัติเหตุ 2,006 ครั้ง ในโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 7 โดยมีผลลัพธ์การพยากรณ์แสดงในรูปของการกระจายตัวของระยะเวลาแสดงในรูปที่ 12

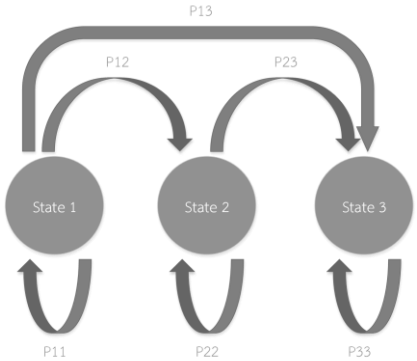


รูปที่ 12 กราฟแสดงความถี่ของระยะเวลาในการเข้าถึงอุบัติเหตุในสายทาง

ส่วนการพยากรณ์หาระยะเวลาเข้าถึงอุบัติเหตุนั้น มีหลักการเดียวกันกับระยะเวลาในการจัดการความพร้อมใช้ของสายทางที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 5.3 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์จะนำมาคิดเป็นแต้มปรับลด (Demerit Points) ตามตารางที่ 4 แล้วนำไปคิดเป็นจำนวนที่ถูกปรับต่อไป

5.5 การพยากรณ์ดัชนีความขรุขระสากลของผิวจราจร (IRI)

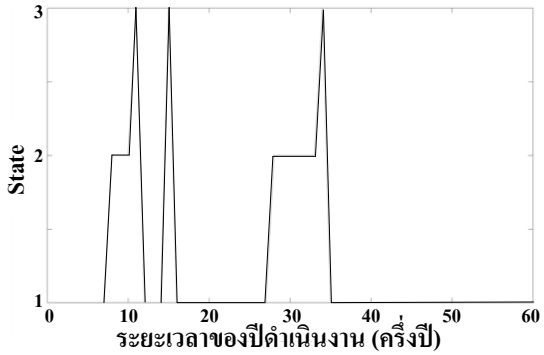
งานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลด้านการพยากรณ์สภาพความขรุขระของผิวจราจรโดยดัชนีความขรุขระสากล (International roughness index, IRI) โดยใช้หลักการของ แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ (Markov chains) โดยเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจุบันเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นและมีความต่อเนื่องกัน สามารถอธิบายเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แผนภาพแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ (Markov Chains)

จากรูปที่ 13 ประกอบไปด้วย 1) สถานะ (State) ของตัวแปรที่สนใจคือสภาพผิวจราจร และ 2) ความน่าจะเป็น (Probability, P) คือความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะหนึ่งไปอีกสถานะหนึ่ง โดยงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะจากงานวิจัยของ Pérez-Acebo et al. [13] สำหรับการพยากรณ์สภาพความขรุขระของผิวจราจร เมื่อสถานะที่ได้จากการพยากรณ์ไม่เป็นไปตามเกณฑ์การ

ประเมิน ภาคเอกชนจะต้องบำรุงรักษาผิวจราจรให้กลับมาอยู่ในสภาพที่เป็นไปตามเกณฑ์ โดยตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ (ทุกครึ่งปี) ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์สถานะของผิวถนน

จากรูปที่ 14 จะเห็นว่าถนนได้มีการเปลี่ยนสถานะจาก State 1 ไปยัง State 2 และ 3 เมื่อเวลาผ่านไป โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ภาคเอกชนจะต้องปรับปรุงสายทางในกรณีที่สถานะปัจจุบันอยู่ในสถานะที่ 3 (State 3) ให้กลับมาอยู่สถานะที่ 1 (State 1) อยู่เสมอ ซึ่งเมื่อใดที่สถานะของผิวจราจรอยู่ในสถานะที่ 3 (State 3) (ซึ่งได้กำหนดไว้ว่าเป็นสถานะที่มีความขรุขระของผิวจราจรที่มากกว่า 3.5 (IRI เกิน 3.5)) จะถูกคิดเป็นแต้มของการปรับลด (Demerit Points) ตามตารางที่ 4

6. อภิปรายผลการศึกษา

จากสมการที่ 3.1 3.2 และ 3.3 นั้น ประกอบไปด้วยตัวแปรซึ่งส่งผลต่อผลตอบแทนทางการเงินของแต่ละผู้มีส่วนได้เสีย ซึ่งตัวแปรเสี่ยงที่งานวิจัยนี้ได้กำหนดไว้ประกอบไปด้วย (1) ปริมาณจราจรซึ่งส่งผลต่อรายได้ของรัฐเจ้าของโครงการ เมื่อปริมาณจราจรยิ่งมาก รายได้ของรัฐจะเพิ่มสูงตาม แต่ปริมาณจราจรที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลเกี่ยวเนื่องกับค่าใช้จ่าย O&M และการปรับลดค่าตอบแทน ซึ่งส่งผลต่อการเงินของเอกชนผู้ให้บริการและสถาบันการเงินผู้ให้กู้ (2) การปรับลดค่าตอบแทนซึ่งส่งผลต่อผลตอบแทนทางการเงินของเอกชนผู้ให้บริการเช่นเดียวกัน เมื่อมีการปรับลดค่าตอบแทนที่มากขึ้น จะทำให้เอกชนผู้ให้บริการมีรายได้ที่ลดลง รวมถึงสถาบันการเงินผู้ให้กู้ (3) ค่าใช้จ่าย O&M ซึ่งส่งผลต่อผลตอบแทนทางการเงินของเอกชนเช่นเดียวกัน เมื่อมีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น จะส่งผลให้รายได้ของเอกชนผู้ให้บริการลดลงและสถาบันการเงินผู้ให้กู้เช่นกัน (4) อัตราคิดลด ซึ่งส่งผลต่อผลตอบแทนทางการเงินทั้งของรัฐ เอกชน

ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่งานวิจัยนี้ได้นำเสนอนั้น จะสามารถพยากรณ์หาผลลัพธ์ของการพยากรณ์ที่ได้ ซึ่งสามารถพยากรณ์ได้ทั้งกรณี Deterministic Model ซึ่งบอกผลลัพธ์การพยากรณ์ได้ค่าเดียว (Single-point Estimate) และกรณี Stochastic Model โดยใช้วิธี Monte Carlo Simulation ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ที่มีค่าที่หลากหลาย แล้วผลลัพธ์ที่มีความหลากหลายนั้น จะทำให้ผลตอบแทนที่เกิดขึ้นมีค่าที่หลากหลายเช่นเดียว ส่งผลให้สามารถระบุได้ถึงความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นของแต่ละผู้มีส่วนได้เสียได้

7. สรุปผลการศึกษา

ภาครัฐและเอกชนได้มีการร่วมทุนในรูปแบบของ PPP O&M โดยรัฐรับผิดชอบในการลงทุนงานก่อสร้างโยธา และรับความเสี่ยงด้านปริมาณจราจรที่เข้ามาใช้โครงการทางหลวงพิเศษ ขณะที่ภาคเอกชนรับผิดชอบในการลงทุนงานระบบและดำเนินงานพร้อมบำรุงรักษาโครงการ ซึ่งเอกชนจะได้รับผลตอบแทนเป็นค่าจ้างตามที่ตกลงไว้ในสัญญา แต่เนื่องด้วยรูปแบบ PPP O&M นี้มีกลไกการจ่ายค่าตอบแทนตามความพร้อมใช้ (Availability-based payment) ซึ่งเอกชนผู้ให้บริการอาจจะได้รับค่าตอบแทนน้อยลงถ้าให้การให้บริการโครงการไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด เพราะฉะนั้นแล้วจึงมีความสำคัญในการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินและความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นต่อผู้มีส่วนได้เสียหลักในโครงการอันได้แก่ 1) รัฐเจ้าของโครงการ 2) เอกชนผู้ให้บริการ 3) สถาบันการเงินผู้ให้กู้

งานวิจัยนี้ได้เสนอตัวแบบเชิงคำนวณสำหรับการวิเคราะห์ความเสี่ยง โดยพิจารณาตัวแปรเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพทางการเงินของโครงการไว้ 4 ปัจจัยดังแสดงในหัวข้อที่ 4.1

จากนั้นทำการพยากรณ์ปัจจัยเสี่ยงโดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์และทางสถิติ โดยผลลัพธ์ที่ได้นั้น จะนำไปวิเคราะห์ถึงผลตอบแทนทางการเงินที่เกิดขึ้นต่อ รวมถึงการใช้วิธี Monte Carlo สำหรับการวิเคราะห์ความเสี่ยงของแต่ละผู้มีส่วนได้เสียต่อไป ซึ่งผลตอบแทนและความเสี่ยงที่เกิดขึ้น สามารถนำมาวิเคราะห์และพิจารณาถึงเสถียรภาพและความมั่นคงทางการเงินของโครงการ เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์โครงการให้ทุกภาคส่วนได้รับผลตอบแทนที่เป็นไปตามเป้าประสงค์ของการลงทุน

เอกสารอ้างอิง

[1] B. Weber & W.H. Alfen, "Infrastructure–An Overview", in *Infrastructure as an Asset Class*: John Wiley & Sons, Ltd., Hoboken, New Jersey, 2012, pp. 1-20, https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119205852.ch1

[2] M. Garvin and D. Bosso, "Assessing the Effectiveness of Infrastructure Public—Private Partnership Programs and Projects," *Public Works Management & Policy*,vol 13, pp.162-178, 2008, https://doi.org/10.1177/1087724X08323845

[3] E. Engel, R. Fischer and A. Galetovic, "Public-Private Partnerships: Some Lessons After 30 Years. *Regulation*," *vol 43*, 2020

[4] FHWA., "Public-Private Partnership Availability Payment Concessions Model Contract Guide," 2016. [Online]. Available: https://www.transportation.gov/buildamerica/sites/buildamerica.dot.gov/files/2019-08/ap_concession_model_p3_contract_guide_0117_0.pdf

[5] FHWA., "Public-Private Partnerships (P3s)," 2017. [Online]. Available: https://www.fhwa.dot.gov/ipd/pdfs/fact_sheets/techtools_P3_payment_mechanisms.pdf

[6] A. Mahmoud., "A survey of the payment mechanisms for transportation DBFO projects in British Columbia," *Construction Management & Economics*, vol. 25, pp.529-543, 2007, https://doi.org/10.1080/01446190601161465

[7] A. A. Aziz and K. Abdelhalim. "Comparative Analysis of P3 Availability Payments in the USA and Canada," *Advances in Public-Private Partnerships*, pp. 560-573, 2017, https://doi.org/doi:10.1061/9780784480267.044

[8] Department of Highways, "Public Private Partnership for Operation and Maintenance (O&M), Bang Pa-In - Nakhon Ratchasima Intercity Motorway Project: Request for Proposal Volume 4 DOH's Reqirement: Part 3 Outline Operation and Maintenance Specification,". 2019

[9] J. Mun, Modeling Risk: *Applying Monte Carlo Simulation, Real Options Analysis, Stochastic Forecasting, and Optimization*,John Wiley & Sons,Ltd., Hoboken, New Jersey, 2006, pp. 74-77.

[10] T. Vu, E. Loehr and D. Smith, "Probabilistic analysis and resistance factor calibration for deep foundation design using Monte Carlo simulation," *Heliyon*, vol. 4, 2018, https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00727

[11] Department of Highways, " Study and analysis of the feasibility of Public-Private Partnership for Operation&Maintenance (O&M) Intercity Motorway Bang Pa-in - Nakornratchasima,". 2016

[12] D. Vose, *Risk Analysis – A Quantitative Guide*.: John Wiley & Sons, Ltd., Hoboken, New Jersey, 2008, pp. 380.

[13] H. Pérez-Acebo, N. Mindra, A. Railean And E. Roji, "Rigid pavement performance models by means of Markov Chains with half-year step time," *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 20, pp. 830-843, 2019, https://doi.org/10.1080/10298436.2017.1353390