

การประเมินโครงการก่อสร้างของกรมทางหลวงชนบทอย่างยั่งยืนด้วยวิธี Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Method (FMADM)

A Sustainable Evaluation of Rural Road Construction Projects Using Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Method (FMADM)

เชิดสกุล สะอาด (Cherdsakul Sa-ard)* นัฐพงศ์ ปัตตูลี (Nuthapahong Pattulee)*

พนกฤณ คลังบุญครอง (Pongrid Klungboonkrong)¹** วินัย ศรีอำพร (Winai Sriamporn)***

ชินะวัฒน์ มุกตพันธุ์ (Chinawat Muktabhant)¹*** ชาทิชา ไวยสุระสิงห์ (Chattichai Waisurasingha)¹****

(Received: June 27, 2019; Revised: August 21, 2019; Accepted: August 22, 2019)

บทคัดย่อ

องค์การสหประชาชาติ ได้จัดทำเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน ที่ต้องสร้างความสมดุลระหว่างเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ซึ่งประเทศไทยได้นำเอาหลักการนี้มาเป็นส่วนหนึ่งในร่างยุทธศาสตร์ชาติ ระยะ 20 ปี กรมทางหลวงชนบทเป็นหนึ่งในหน่วยงานที่นำมาปรับใช้ มีเป้าหมายในการพัฒนาและดูแลรักษาโครงข่ายทางอย่างมีคุณภาพ แต่เนื่องด้วยงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้ไม่สามารถบำรุงรักษาและพัฒนาถนนได้ทั้งหมด งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธี Fuzzy Multiple attribute Decision Making Method (FMADM) โดยมีปัจจัยหลักที่สำคัญ คือ ปัจจัยด้านสังคม ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม และปัจจัยรองอีกหลายปัจจัย นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในการคัดเลือกโครงการก่อสร้างทางหลวงชนบทในพื้นที่จังหวัดบึงกาฬ พบว่า โครงการก่อสร้างที่มีความเหมาะสมที่สุด คือ โครงการก่อสร้างถนน สาย บก.3013 ซึ่งมีค่าคะแนนเท่ากับ 0.8219 และผลการจัดลำดับของทั้ง 2 วิธีมีความคล้ายคลึงกัน

ABSTRACT

United Nations has established sustainable development goals that must create a balance between economy, society and environment. Thailand has adopted this principle as part of the 20-year national strategy. The department of rural roads is one of the agencies that apply this principle to develop and maintain a rural road network. Due to a limited budget, it impossible to construct and maintain all segment of all the rural road networks in Thailand. This research resented the application of Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Method (FMADM). Main factors considered are society, economy and environment as well as the minor factors were used in the process. In addition, the economic evaluation was also conducted to priorities several rural road construction projects in Bueng Kan (BK) city, Thailand and compare to the analysis result of FMADM. It was found that the most suitable construction project is rural road BK. 3013 with the composite score of 0.8219 and the ranking results from both methods are similar.

คำสำคัญ: การจัดลำดับความสำคัญทางหลวงชนบท FMADM และการพัฒนาอย่างยั่งยืน

Keywords: Rural road prioritization, FMADM and Sustainable Development (SD)

¹Corresponding author: ponklung@gmail.com

*นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**รองศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

****ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

องค์การสหประชาชาติ (United Nations, UN) ได้จัดประชุมหารือ เรื่อง การพัฒนาอย่างยั่งยืน มีการจัดทำเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals–SDGs) ในที่ประชุมสหประชาชาติ มีความเห็นตรงกันว่า การจะบรรลุเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน จำเป็นจะต้องสร้างความสมดุลระหว่างเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม [1]

ประเทศไทยซึ่งเป็นหนึ่งในสมาชิกขององค์การสหประชาชาติ จึงได้นำเอาหลักการนี้เป็นส่วนหนึ่งของร่างยุทธศาสตร์ชาติ ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) [2] กรมทางหลวงชนบทเป็นหนึ่งในหน่วยงานหลักที่มีหน้าที่รับผิดชอบต่อการคมนาคมและการขนส่งทางถนน จึงได้มีการจัดทำแผนพัฒนาทางหลวงชนบทให้สอดคล้องกับร่างยุทธศาสตร์ชาติ ระยะ 20 ปี [3] แต่เนื่องด้วยงบประมาณและบุคลากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้กรมทางหลวงชนบทไม่สามารถบำรุงรักษาและพัฒนาถนนที่อยู่ในความรับผิดชอบได้ทั้งหมด การจัดลำดับความสำคัญเพื่อคัดเลือกโครงการก่อสร้างที่จะพัฒนาและบูรณะ เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว โครงการก่อสร้างของทางราชการจะจัดเรียงลำดับความสำคัญตามความคุ้มค่าของโครงการ ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมกับถนนของกรมทางหลวงชนบทที่ส่วนใหญ่มีปริมาณจราจรไม่มากนัก จึงได้เกิดการศึกษาต่าง ๆ เพื่อจัดลำดับความสำคัญโครงการก่อสร้างทางหลวงชนบทขึ้น

Bhandari et al. [4] ได้ทำการศึกษาการจัดลำดับความสำคัญโครงการก่อสร้างถนนในประเทศเนปาล โดยใช้วิธี AHP มีปัจจัยหลักที่ใช้ในการคัดเลือกโครงการ 3 ปัจจัยหลัก คือ (1) ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ (2) ปัจจัยด้านการคาดหวังทางสังคม (3) ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม พบว่าปัจจัยด้านเศรษฐกิจส่งผลต่อลำดับความสำคัญโครงการก่อสร้างถนนมากที่สุด

กรมทางหลวงชนบท [3] ได้จัดทำโครงการจ้างที่ปรึกษาจัดทำแผนพัฒนาทางหลวงชนบทประจำกรม กลุ่มที่ 1-8 ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 ซึ่งมีการวิเคราะห์ความสำคัญเชิงยุทธศาสตร์ของสายทาง โดยมีปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยด้านวิศวกรรม ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ด้านปัจจัยรองได้แก่ ปริมาณจราจร สัดส่วนรถบรรทุก การเข้าถึงพื้นที่สำคัญ ความหนาแน่นของชุมชน และการเข้าถึงบริการพื้นฐานของรัฐ ซึ่งเกณฑ์การให้ค่าคะแนนของแต่ละปัจจัยยังไม่มีความชัดเจน รวมถึงยังไม่มีกรนำปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมมาพิจารณา การวิจัยนี้จึงได้นำเสนอ วิธีการ Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Method (FMADM) ซึ่งประกอบด้วยวิธีลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (The Analytic Hierarchy Process, AHP) วิธีค่าคะแนนฟัซซี่ (Fuzzy Scoring Method, FSM) และการรวมค่าคะแนนโดยวิธี Simple Additive Weight (SAW) มาประยุกต์เพื่อหาค่าคะแนนของปัจจัยที่นำมาพิจารณาในการจัดลำดับความสำคัญของโครงการก่อสร้างทางหลวงชนบท ภายใต้หลักการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development, SD)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และจัดลำดับความสำคัญของโครงการก่อสร้างทางหลวงชนบท
2. จัดลำดับความสำคัญโครงการก่อสร้างทางหลวงชนบทด้วยวิธี FMADM ซึ่งเป็นการบูรณาการวิธีลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (The Analytic Hierarchy Process, AHP) ทฤษฎีวิธีค่าคะแนนฟัซซี่ (Fuzzy Scoring Method, FSM) และการรวมค่าคะแนนโดยวิธี Simple Additive Weight (SAW) ภายใต้หลักการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development)
3. เพื่อเปรียบเทียบผลการจัดลำดับความสำคัญโครงการก่อสร้างทางหลวงชนบท โดยวิธี FMADM และวิธีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

วิธีการวิจัย

การเลือกพื้นที่ศึกษา

ในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกพื้นที่จังหวัดบึงกาฬ เนื่องจากเป็นจังหวัดที่เพิ่งตั้งใหม่ล่าสุด มีแนวพรมแดนติดกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว มีศักยภาพพัฒนาเศรษฐกิจและขีดความสามารถในการแข่งขันการลงทุนและการท่องเที่ยว [5] โดยตำแหน่งที่ตั้งและข้อมูลพื้นฐานของจังหวัดบึงกาฬแสดงดังภาพที่ 1 [5] และนำโครงการก่อสร้างที่มีแผนจะของงบประมาณปี 2563 ของแขวงทางหลวงชนบทบึงกาฬที่ จำนวนทั้งสิ้น 19 โครงการ มาใช้ในการวิจัย

การจัดลำดับความสำคัญโดยวิธีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Benefit Cost Analysis, BCA)

การวิเคราะห์หาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการก่อสร้างที่เกิดขึ้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เห็นว่าโครงการมีความคุ้มค่า โดยพิจารณาจากต้นทุนและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นเมื่อโครงการก่อสร้างแล้วเสร็จ [6] โดยต้นทุนของโครงการในการวิจัยนี้คือ ค่าก่อสร้างและค่าบำรุงรักษา ส่วนผลประโยชน์ของโครงการก่อสร้างในการวิจัยนี้ ได้ใช้วิธีของสมัย โชติสกุลและคณะ [7] ซึ่งสามารถใช้กับถนนของทางหลวงชนบทของประเทศไทย ประกอบด้วย

(1) ผลประโยชน์จากการลดลงของอุบัติเหตุ คือ ผลประโยชน์จากจำนวนอุบัติเหตุที่ลดลงเมื่อโครงการแล้วเสร็จ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ดังนี้

$$B_{ar} = \frac{ARF}{100} \times [ACC_{av} \times ADT \times \{ (V_{af} \times N_{f/a}) + (V_{ai} \times N_{i/a}) \}] \times 365 \quad \dots\dots\dots (1)$$

โดยที่ B_{ar} คือ ผลประโยชน์จากอุบัติเหตุที่ลดลง (บาท/กม./ปี) ARF คือ อัตราการลดลงของอุบัติเหตุ ACC_{av} คือ จำนวนการเกิดอุบัติเหตุเฉลี่ยต่อปี (ครั้ง/กม.) ADT คือ ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวัน (คัน/วัน) V_{af} คือ มูลค่าการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุ (บาท/คน) $N_{f/a}$ คือ จำนวนผู้เสียชีวิตเฉลี่ยจากอุบัติเหตุ (คน/ครั้ง) V_{ai} คือ มูลค่าการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ (บาท/คน) $N_{i/a}$ คือ จำนวนผู้บาดเจ็บเฉลี่ยจากอุบัติเหตุ (คน/ครั้ง)

(2) ผลประโยชน์จากการประหยัดเวลาในการเดินทาง คือ ผลประโยชน์ในการประหยัดเวลาในการเดินทางของผู้ใช้เส้นทางที่เกิดขึ้นเมื่อโครงการก่อสร้างแล้วเสร็จ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 ดังนี้

$$B_{ts} = \frac{T_s}{60} \times VOT \times ADT \times 365 \quad \dots\dots\dots (2)$$

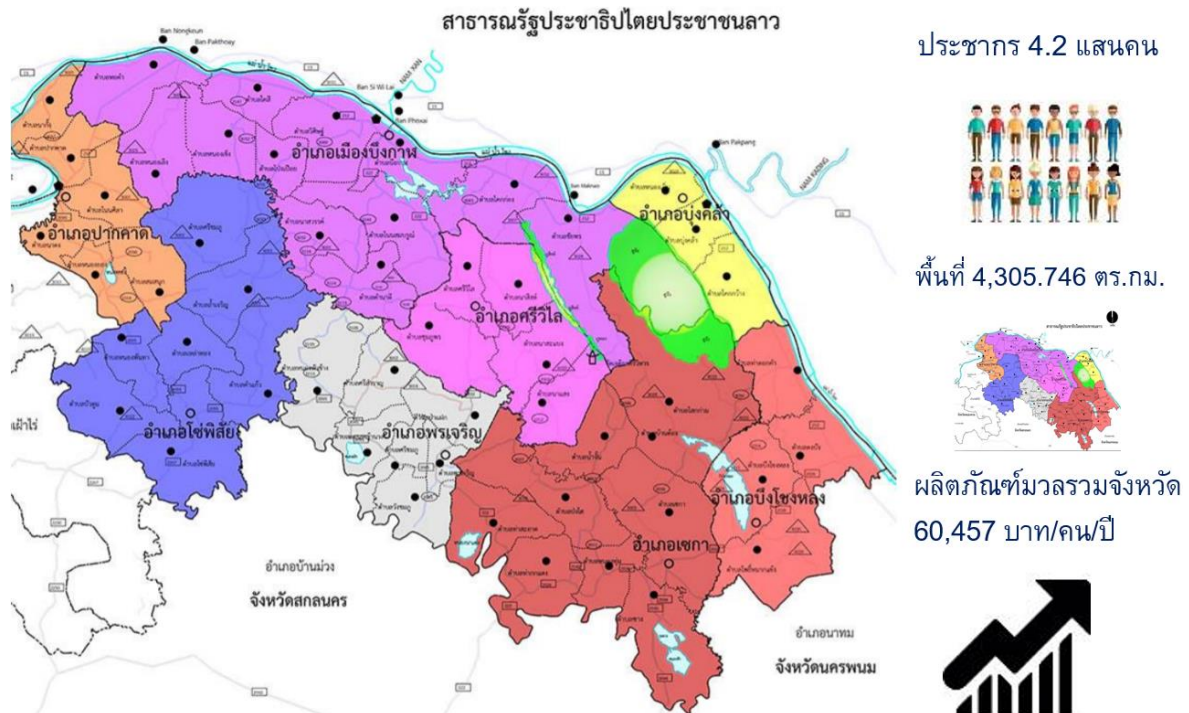
โดยที่ B_{ts} คือ ผลประโยชน์จากการประหยัดเวลาเดินทาง (บาท/กม./ปี) T_s คือ เวลาที่ลดลงเนื่องจากการเดินทาง (วินาที/กม.) VOT คือ มูลค่าเวลาขานพาหนะ (บาท/นาที/คัน) ADT คือ ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวัน (คัน/วัน)

(3) ผลประโยชน์จากการลดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับยานพาหนะ คือ ผลประโยชน์จากค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับยานพาหนะที่ลดลงของผู้ใช้เส้นทาง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 ดังนี้

$$B_{voc} = \frac{S_{voc}}{100} \times VOC \times ADT \times 365 \quad \dots\dots\dots (3)$$

โดยที่ B_{voc} คือ ลดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับยานพาหนะ (บาท/กม./ปี) S_{voc} คือ ร้อยละของค่าใช้จ่ายที่ลดลงต่อขบวน 1 คัน (ร้อยละ) VOC คือ ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับรถ (บาท/คัน-กม.) ADT คือ ปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวัน (คัน/วัน)

จากนั้นนำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณหาดัชนีเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยดัชนีในการวิจัยนี้ได้แก่ วิธีมูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) วิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit Cost Ratio, BCR) และวิธีอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) [6] โดยเลือกใช้ค่าอัตราดอกเบี้ยทบต้นต่อปีเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ [8] และอายุของโครงการที่ 7 ปี ซึ่งเป็นอายุการออกแบบถนนลาดยางที่กรมทางหลวงชนบทแนะนำ โดยคัดเลือกโครงการก่อสร้างที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มาจัดลำดับโดยวิธี FMADM ต่อไป



ภาพที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งและข้อมูลพื้นฐานของจังหวัดบึงกาฬ

การจัดลำดับความสำคัญโครงการโดยวิธี FMADM

วิธี FMADM เป็นขั้นตอนที่ใช้การตัดสินใจที่มีทั้งข้อมูลคลุมเครือ เช่น น้อย ปานกลาง มาก และข้อมูลที่เป็นตัวเลขชัดเจน โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ วิธีลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (The Analytic Hierarchy Process, AHP) วิธีค่าคะแนนฟัซซี่ (Fuzzy Scoring Method, FSM) และวิธี Simple Additive Weight (SAW) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

วิธีลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (The Analytic Hierarchy Process, AHP)

The Analytic Hierarchy Process (AHP) ได้พัฒนาขึ้นเมื่อประมาณ 40 ปีก่อน [9] ขั้นตอนการดำเนินการของ AHP โดยทั่วไป ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

(1) การจำแนกองค์ประกอบการตัดสินใจออกเป็นส่วนๆ (Decomposition) เป็นการจำแนกหลักเกณฑ์หรือปัจจัยต่าง ๆ ออกเป็นกลุ่ม แล้วนำปัจจัยไปจัดเป็นรูปแบบโครงสร้างในการตัดสินใจ (Hierarchy structure) [9-10]

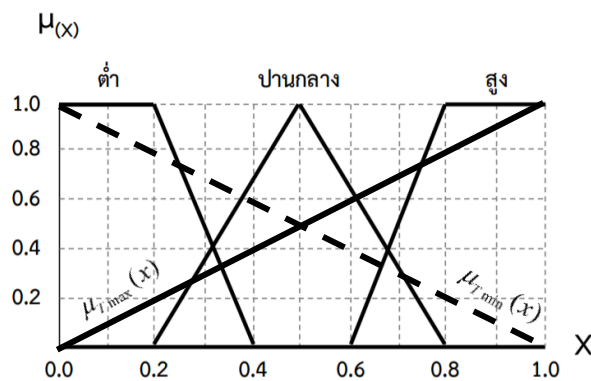
(2) การลำดับความสำคัญ (Prioritization) เมื่อได้โครงสร้างลำดับโครงสร้างในการตัดสินใจแล้ว ขั้นตอนต่อไปของ AHP คือ การหาค่าน้ำหนักความสำคัญ (Weight) ของลำดับชั้นโครงสร้างของแต่ละชั้น โดยใช้วิธีเปรียบเทียบเป็นคู่ (pairwise comparison) สำหรับปัจจัยที่อยู่ในระดับเดียวกัน เพื่อหาค่าน้ำหนักความสำคัญเปรียบเทียบ (Relative weight) ของปัจจัย โดยใช้การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ 2 กลุ่ม คือ ผู้เชี่ยวชาญด้านปฏิบัติงาน และผู้เชี่ยวชาญด้านวิชาการ รวมทั้งสิ้น 12 คน โดยค่าคะแนน (1 ถึง 9) ที่ใช้ในการเปรียบเทียบเป็นคู่ คือ ค่าคะแนน 1 หมายถึงปัจจัยทั้งสองมีความสำคัญเท่ากัน และค่าคะแนน 9 หมายถึง ปัจจัยหนึ่งสำคัญกว่าปัจจัยหนึ่งมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ [6] เมื่อเปรียบเทียบเป็นคู่แล้วเสร็จ ขั้นตอนต่อไปคือ การหาค่าคะแนนความสำคัญ $a_{ij} = w_i / w_j$ สำหรับทุกสมาชิกของการตัดสินใจ และค่าของส่วนกลับ $a_{ji} = 1 / a_{ij}$ จะอยู่ในเมตริกซ์ $A = \{a_{ij}\}$ [6] โดยการหาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่เปรียบเทียบสามารถหาได้จากสมการ $AW = \lambda_{\max} W$ และวิธี Normalisation of the Geometric Mean of the Row (N.G.M.) ได้ถูกใช้

เพื่อคำนวณ Principle Right Eigenvector (W) และค่า Largest Eigenvalue ($\lambda_{\max}$) ของจัตุรัส A และวิธี Geometric Mean Method (GMM) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนให้รวมเป็นกลุ่ม [6] ในส่วนของความสอดคล้องของการวินิจฉัยของผู้เชี่ยวชาญสามารถตรวจสอบได้ด้วยอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio, C.R.) คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index, CI) และดัชนีความสอดคล้องสุ่ม (Random Consistency Index, RCI) หากค่า CR. มีค่าน้อยกว่า 0.10 หมายถึง การวินิจฉัยของผู้เชี่ยวชาญมีความสอดคล้อง [6]

(3) การสังเคราะห์ (Synthesis) หลักจากที่ได้ค่าระดับความสำคัญของทุกปัจจัยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การประยุกต์นำ “Principle of Hierarchy Composition” [9] มาใช้ในการสรุประดับความสำคัญแต่ละค่าของปัจจัยเป็นระดับความสำคัญสัมพัทธ์ (Global Relative Importance) เพื่อพิจารณาหาทางเลือกที่ดีที่สุด ซึ่งอยู่ในตำแหน่งล่างสุดของแผนภูมิระดับชั้น [10]

วิธีค่าคะแนนฟัซซี่ (Fuzzy Scoring Method, FSM)

ในส่วนนี้จะเป็นการกำหนดค่าคะแนน (Score) สำหรับแต่ละปัจจัยรองที่ใช้ในการพิจารณาจัดลำดับความสำคัญ โดยกำหนดค่าคะแนนซึ่งจำแนกระดับค่าคะแนนเป็น 3 ระดับคือ ต่ำ ปานกลาง และสูง โดยประยุกต์ใช้วิธี Fuzzy Scoring Method (FSM) เพื่อประมาณค่าคริสปี้ (ตัวเลขจริง) จากตัวเลขฟัซซี่ (ตัวเลขที่คลุมเครือ) [11] ดังภาพที่ 2 จะได้ค่ารวม $\mu_T(i)$ สำหรับ 3 ระดับค่าพูด [10] ได้แก่ ต่ำ (0.2 คะแนน) ปานกลาง (0.6 คะแนน) และสูง (1.0 คะแนน)



ภาพที่ 2 การแปลง 3 คำพูดที่คลุมเครือให้เป็น Fuzzy number

วิธี Simple Additive Weight (SAW)

เมื่อได้ค่าคะแนนของปัจจัยเป็นตัวเลขแล้ว ในการรวมคะแนนจะใช้วิธี Simple Additive Weight (SAW) [6] โดยมีวิธีการคำนวณดังสมการที่ 4

$$CI_i = \sum_{j=1}^n w_j s_{ij} \dots\dots\dots (4)$$

เมื่อ CI_i คือ Composite Index ของทางเลือก w_j คือ ค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ S_{ij} คือ ค่าคะแนนของทางเลือก i เมื่อพิจารณาเกณฑ์ j และ n คือ จำนวนเกณฑ์ที่พิจารณา

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการก่อสร้างทั้ง 19 โครงการ โดยใช้ข้อมูลปริมาณจราจร Growth rate และค่าบำรุงรักษาดนจากกรมทางหลวงชนบท [3] โดยจะยกตัวอย่างของสาย บก.3004 ที่มีปริมาณจราจร

3,415.00 คันต่อวัน ค่า Growth rate ที่ 1.06 ค่าบำรุงรักษา 53,000 บาท/กิโลเมตร มีค่าก่อสร้างที่ 12,800,000 บาท เป็นการขยายความกว้างถนนจาก 8 เมตร เป็น 12 เมตร ระยะทางก่อสร้าง 2.520 กิโลเมตร โดยคำนวณผลประโยชน์รวมจากสมการที่ 1 สมการที่ 2 และสมการที่ 3 จากนั้นคำนวณผลต้นทุน และเปลี่ยนค่าเงินทั้งหมดให้เป็นปีปัจจุบันดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลประโยชน์และต้นทุนมูลค่าปัจจุบันของสาย บก.3004

ลำดับ	ปีที่	ผลประโยชน์รวม	ต้นทุน	ผลต่าง	มูลค่าปัจจุบันของ ผลประโยชน์	มูลค่าปัจจุบัน ของต้นทุน
0	2561			-		-
0	2562		12,800,000.00	(12,800,000.00)	-	12,800,000.00
1	2563	2,822,842.59	*	2,822,842.59	2,566,220.54	-
2	2564	2,992,213.15	*	2,992,213.15	2,472,903.43	-
3	2565	3,171,745.94	133,560.00	3,038,185.94	2,382,979.67	100,345.60
4	2566	3,362,050.70	133,560.00	3,228,490.70	2,296,325.86	91,223.28
5	2567	3,563,773.74	133,560.00	3,430,213.74	2,212,823.10	82,930.25
6	2568	3,777,600.16	133,560.00	3,644,040.16	2,132,356.81	75,391.14
7	2569	4,004,256.17	133,560.00	3,870,696.17	2,054,816.56	68,537.40
รวม		23,694,482.45	13,467,800.00	10,226,682.45	16,118,425.98	13,218,427.67

*เว้นค่าบำรุงรักษา 2 ปีเนื่องจากการค้าประกันสัญญา

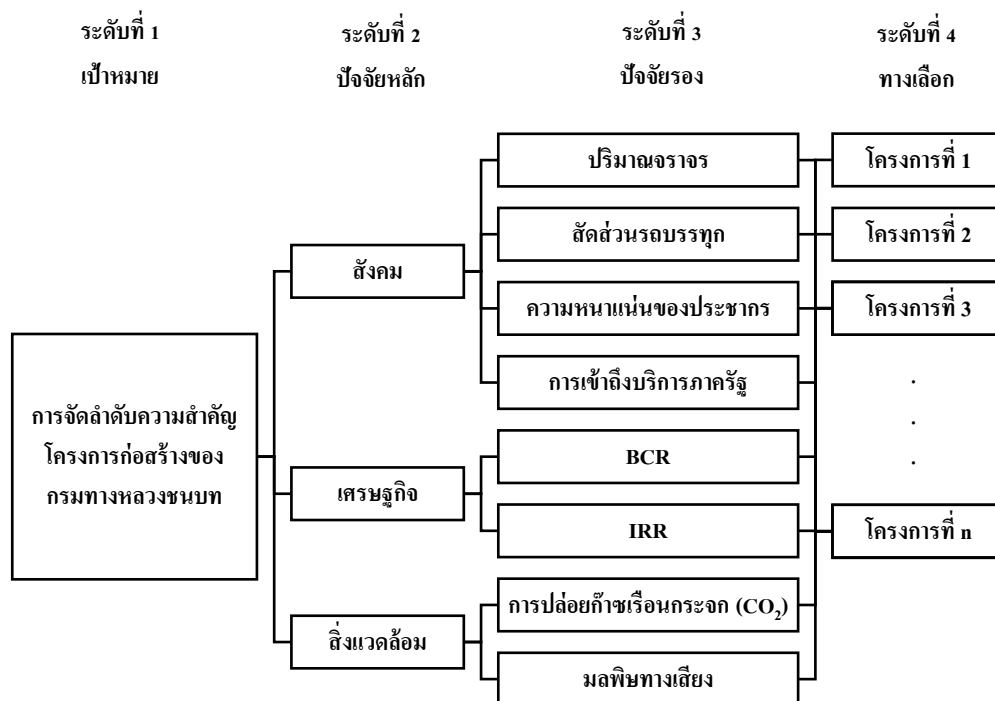
จากตารางที่ 1 จะเป็นการคำนวณผลประโยชน์และต้นทุนที่เกิดขึ้นตลอดอายุการออกแบบ และปรับเปลี่ยนมูลค่าของทั้งผลประโยชน์และต้นทุนเป็นมูลค่าของปี 2562 โดย โครงการก่อสร้างสาย บก.3004 นี้ มีค่า NPV เท่ากับ 2,899,998.31 BCR เท่ากับ 1.22 และ ค่า IRR เท่ากับ 16.21 เปอร์เซ็นต์ ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการก่อสร้างที่มีความคุ้มค่าดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการก่อสร้าง

ลำดับ	รหัสสายทาง	NPV	B/C	IRR
1	บก.3004	2,899,998.31	1.22	16.21%
2	บก.3013	1,989,086.26	1.19	15.54%
3	บก.5019	703,344.50	1.12	13.77%
4	บก.4011	135,953.48	1.02	10.56%

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างการตัดสินใจ

จากการทบทวนวรรณกรรมและการศึกษาการจัดลำดับความสำคัญในอดีต [3-4, 12-13] เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่มีอยู่และข้อมูลที่สามารถค้นหาเพิ่มเติมได้ สามารถสร้างโครงสร้างการตัดสินใจที่สอดคล้องกับหลักการพัฒนาอย่างยั่งยืน เนื่องจากการจัดลำดับความสำคัญของโครงการก่อสร้างทางหลวงชนบทที่เกิดจากการสร้างความสมดุลของ 3 ปัจจัยสำคัญได้แก่ สังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม ได้ดังภาพที่ 3 และนิยามของปัจจัยหลักและปัจจัยรองดังตารางที่ 3



ภาพที่ 3 โครงสร้างลำดับชั้นการตัดสินใจการจัดลำดับความสำคัญโครงการก่อสร้างทางหลวงชนบท

การคำนวณการเข้าถึงบริการภาครัฐ

ในการคำนวณการเข้าถึงพื้นที่บริการภาครัฐนี้ จะใช้ข้อมูลจำนวนสถานที่ราชการ ที่อยู่ตลอด 2 ข้างทาง ระหว่างจากเส้นกึ่งกลางถนนข้างละ 500 เมตร โดยระยะห่างนี้ เป็นหนึ่งในแนวคิดการพัฒนาพื้นที่รอบสถานีขนส่ง (Transit Oriented Development, TOD) ที่แนะนำไว้ว่าระยะที่เหมาะสมสำหรับการเดินเท้าจากสถานีขนส่งถึงสถานที่ต่าง ๆ คือ 400 - 600 เมตร [6]

การคาดการณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO₂) คือ จำนวนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO₂) เมื่อโครงการแล้วเสร็จ [14] ซึ่งมีสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังสมการที่ 5

$$TE = \sum_e \sum_i \sum_j (E_{f_{ij}} \times D_e \times 1000 \times V_{ije}) \dots\dots\dots (5)$$

เมื่อ TE คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของรถชนิด i และเครื่องยนต์ชนิด j จากโครงข่ายถนน (e) ทั้งหมด (กรัม) EF_{ij} คือ Emission Factor ของรถแต่ละประเภท (กรัมต่อกิโลเมตร) D_e คือ ระยะทางของโครงข่าย (กิโลเมตร) V_{ije} คือ ปริมาณจราจรของรถแต่ละชนิด (จำนวนคันต่อวัน)

ตารางที่ 3 นิยามของปัจจัยหลักและปัจจัยรอง

ปัจจัย	นิยาม	หน่วย	ที่มา
(1) สังคม	สภาพสังคมรอบข้างของโครงการก่อสร้าง		
(1.1) ปริมาณจราจร	ความต้องการในการเดินทางตามเส้นทาง	PCU ต่อวัน	แขวงทางหลวง ชนบทบึงกาฬ
(1.2) สัดส่วนรถบรรทุก	การขนส่งสินค้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเกษตร และ อุตสาหกรรม	เปอร์เซ็นต์	แขวงทางหลวง ชนบทบึงกาฬ
(1.3) ความหนาแน่นของ ประชากร	จำนวนประชาชนทั้งสองข้างทาง ระยะข้างละ 1.5 กิโลเมตร	คนต่อตาราง กิโลเมตร	แขวงทางหลวง ชนบทบึงกาฬ
(1.4) การเข้าถึงบริการภาครัฐ	จำนวนสถานที่ราชการ เช่น โรงเรียน ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบล โรงพยาบาล ฯลฯ ที่อยู่ตลอด 2 ข้างทาง ระยะทางข้างละ 500 เมตร	แห่งต่อตาราง กิโลเมตร	แขวงทางหลวง ชนบทบึงกาฬ
(2) เศรษฐกิจ	ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการก่อสร้าง		
(2.1) BCR	อัตราผลประโยชน์ต่อการลงทุน		BCA
(2.2) IRR	อัตราผลตอบแทนภายในด้านเศรษฐศาสตร์	ร้อยละต่อปี	BCA
(3) สิ่งแวดล้อม	ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากโครงการก่อสร้าง		
(3.1) การปล่อยก๊าซเรือน กระจก (CO ₂)	จำนวนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO ₂) ที่เกิดขึ้นจาก ยานพาหนะเมื่อโครงการแล้วเสร็จ	ตันต่อปี	CORTN [14]
(3.2) มลพิษทางเสียง	มลพิษทางเสียงที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะเมื่อโครงการแล้ว เสร็จต่อผู้ที่อาศัยสองข้างทาง	เดซิเบล	Bottom-Up 2 [15]

การคาดการณ์มลพิษทางเสียง (Noise Pollution)

ในส่วนนี้จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ วิธี The UK Department of Transport Calculation of Road Traffic Noise (CORTN) ที่ใช้ทำนายค่าระดับเสียงของแต่ละช่วงถนน เพื่อหาค่าระดับเสียงที่เกิดขึ้นเมื่อโครงการก่อสร้างแล้วเสร็จ ต่อผู้ที่อาศัยสองข้างทาง ซึ่งมีสมการ[15] ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังสมการที่ 6

$$FNL = BNL + \sum_{i=1}^n C_i \quad \dots\dots\dots (6)$$

เมื่อ FNL คือ ค่าระดับเสียงสุดท้าย (dB(A)) BNL คือ ค่าระดับเสียงพื้นฐาน C_i คือ ค่าปรับแก้ที่ i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$

ผลการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักและปัจจัยรอง

ค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง (CR) ของปัจจัยหลักและปัจจัยรองจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 12 คน มีค่าน้อยกว่า 0.10 ทั้งแบบบุคคลและแบบกลุ่มดังตัวอย่างตามตารางที่ 4 และ 5 ซึ่งแสดงถึงความสอดคล้องของการวินิจฉัยในกระบวนการตัดสินใจ โดยมีค่าการให้น้ำหนักของปัจจัยหลักและปัจจัยรองดังตารางที่ 6 ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัย มีค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักด้านสังคม (0.5020) เป็นอันดับแรก ตามมาด้วยปัจจัยหลักด้านเศรษฐกิจ (0.3090) และปัจจัยหลักด้านสิ่งแวดล้อม (0.1890) ตามลำดับ ในส่วนของปัจจัยรองมี BCR (0.2022) เป็นลำดับแรก ตามมาด้วย และสัดส่วนรถบรรทุก (0.0657) เป็นลำดับสุดท้าย

ผลการวิเคราะห์หาค่าน้ำคะแนนของปัจจัยรอง

รวบรวมข้อมูลตามปัจจัยรองของ 4 โครงการก่อสร้างที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ดังตารางที่ 7 จากนั้นใช้วิธีการ K-means Clustering ในการแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่ม โดยการพิจารณาจากร้อยละสะสม (Cumulative

Percentage) ของโครงการที่ผ่านการกลั่นกรอง โดยได้กำหนดค่าระดับคะแนนต่ำ คือน้อยกว่าร้อยละ 30 (ค่าคะแนน 0.2) ค่าระดับคะแนนปานกลาง มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 30 ถึง 70 (ค่าคะแนน 0.6) และค่าระดับคะแนนสูง มีค่ามากกว่าร้อยละ 70 (ค่าคะแนน 1.0) ดังตารางที่ 8 ยกเว้นปัจจัยรองด้าน BCR IRR และมลพิษทางเสียงที่ปรับใช้ค่าตามความเหมาะสม

ผลการจัดลำดับความสำคัญโครงการ โดยวิธี FMADM

เมื่อรวมคะแนนของโครงการก่อสร้างแต่ละโครงการแล้ว พบว่า โครงการสายก่อสร้างสาย บก.3013 มีคะแนนมากที่สุด (0.8219) คะแนน รองลงมาคือ โครงการก่อสร้างสาย บก.3004 (0.7651) บก.5019 (0.5916) และ บก.4011 (0.5119) ดังตารางที่ 9 โดยปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าคะแนนของแต่ละโครงการก่อสร้างแตกต่างกันมากที่สุด คือ ปัจจัยรองด้านปริมาณจราจร และมีผลสรุปและเปรียบเทียบผลการจัดลำดับความสำคัญโครงการของวิธี FMADM และวิธีวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ดังตารางที่ 10 ซึ่งพบว่ามีลำดับความสำคัญของโครงการที่คล้ายคลึงกัน

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการเปรียบเทียบองค์ประกอบการตัดสินใจที่ละคู่ตามปัจจัยหลักของผู้เชี่ยวชาญ 1 คน

ปัจจัยหลัก	(1)	(2)	(3)	ค่าน้ำหนัก
(1) ด้านสังคม	1	2	4	0.5584
(2) เศรษฐกิจ	1/2	1	3	0.3196
(3) สิ่งแวดล้อม	1/4	1/3	1	0.1220
รวม				1.000

$$\lambda_{\max} = 3.0185, \text{ CI} = 0.0092, \text{ และ CR} = 0.0177$$

ตารางที่ 5 ตัวอย่างการเปรียบเทียบองค์ประกอบการตัดสินใจที่ละคู่ตามปัจจัยหลักของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

ปัจจัยหลัก	(1)	(2)	(3)	ค่าน้ำหนัก
(1) ด้านสังคม	1.000	1.7302	2.4945	0.5020
(2) เศรษฐกิจ	0.5779	1.000	1.7413	0.3090
(3) สิ่งแวดล้อม	0.4008	0.5742	1.000	0.1890
รวม				1.000

$$\lambda_{\max} = 3.0040, \text{ CI} = 0.0020, \text{ และ GCR} = 0.0038$$

ตารางที่ 6 ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

ปัจจัยหลัก	ค่าน้ำหนัก	ปัจจัยรอง	ค่าน้ำหนัก
สังคม	0.5020 (1)	ปริมาณจราจร	0.1932 (2)
		สัดส่วนรถบรรทุก	0.0657 (8)
		ความหนาแน่นของประชากร	0.1421 (3)
		การเข้าถึงบริการภาครัฐ	0.1010 (6)
เศรษฐกิจ	0.3090 (2)	BCR	0.2022 (1)
		IRR	0.1068 (5)
สิ่งแวดล้อม	0.1890 (3)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO ₂)	0.1091 (4)
		มลพิษทางเสียง	0.0799 (7)
รวม	1.0000	รวม	1.0000

ตารางที่ 7 ข้อมูลตามปัจจัยของโครงการก่อสร้าง

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยรอง	หน่วยหรือขนาด	บก.3004	บก.4011	บก.3013	บก.5019
สังคม	ปริมาณจราจร	PCU	3,415	2,056	3,583	2,726
	สัดส่วนรถบรรทุก	เปอร์เซ็นต์	12.29	5.93	45.6	40.09
	ความหนาแน่นของประชากร	คนต่อตารางกิโลเมตร	460	106	122	250
	การเข้าถึงบริการภาครัฐ	แห่งต่อตารางกิโลเมตร	1.98	2.17	2.08	0.7
เศรษฐกิจ	BCR		1.22	1.02	1.19	1.12
	IRR	เปอร์เซ็นต์	16.21	10.56	15.54	13.77
สิ่งแวดล้อม	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO ₂)	ตันต่อปี	1,115.04	858.22	422.50	474.60
	มลพิษทางเสียง	เดซิเบล	58.1	59.6	64.8	62.8

ตารางที่ 8 เกณฑ์คะแนนตามปัจจัยของโครงการก่อสร้าง

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยรอง	หน่วยหรือขนาด	เกณฑ์คะแนน		
			น้อย (Low, L)	ปานกลาง (Medium, M)	มาก (High, H)
สังคม	ปริมาณจราจร	PCU	< 2,600	2,600 – 3,450	> 3,450
	สัดส่วนรถบรรทุก	เปอร์เซ็นต์	< 12.00	12.00 – 40.00	> 40.00
	ความหนาแน่นของประชากร	คนต่อตารางกิโลเมตร	< 120	120 – 270	> 270
	การเข้าถึงบริการภาครัฐ	แห่งต่อตารางกิโลเมตร	< 1.80	1.80 – 2.10	> 2.10
เศรษฐกิจ	BCR		< 1.00	1.00 – 2.00	> 2.00
	IRR	เปอร์เซ็นต์	< 10.00	10.00 – 15.00	> 15.00
สิ่งแวดล้อม	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO ₂)	ตันต่อปี	> 880	470 – 880	< 470
	มลพิษทางเสียง	เดซิเบล	> 70.0	65.0 – 70.0	< 65.0

ตารางที่ 9 คำนวณน้ำหนักและค่าคะแนนของปัจจัยรองในแต่ละโครงการก่อสร้าง

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยรอง	น้ำหนัก (1)	3004		4011		3013		5019	
			คะแนน	ผล	คะแนน	ผล	คะแนน	ผล	คะแนน	ผล
			(2)	(1) x (2)	(3)	(1) x (3)	(4)	(1) x (4)	(5)	(1) x (5)
สังคม	ปริมาณจราจร	0.1932	H (1.0)	0.1932	L (0.2)	0.0386	H (1.0)	0.1932	M (0.6)	0.1159
	สัดส่วนรถบรรทุก	0.0657	M (0.6)	0.0394	L (0.2)	0.0131	H (1.0)	0.0657	M (0.6)	0.0394
	ความหนาแน่นของประชากร	0.1421	H (1.0)	0.1421	L (0.2)	0.0284	M (0.6)	0.0853	M (0.6)	0.0853
	การเข้าถึงบริการภาครัฐ	0.1010	M (0.6)	0.0606	H (1.0)	0.101	M (0.6)	0.0606	L (0.2)	0.0202
เศรษฐกิจ	BCR	0.2022	M (0.6)	0.1213	M (0.6)	0.1213	M (0.6)	0.1213	M (0.6)	0.1213
	IRR	0.1068	H (1.0)	0.1068	M (0.6)	0.0641	H (1.0)	0.1068	M (0.6)	0.0641

ตารางที่ 9 ค่าน้ำหนักและค่าคะแนนของปัจจัยรองในแต่ละโครงการก่อสร้าง (ต่อ)

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยรอง	น้ำหนัก (1)	3004		4011		3013		5019	
			คะแนน	ผล	คะแนน	ผล	คะแนน	ผล	คะแนน	ผล
			(2)	(1) x (2)	(3)	(1) x (3)	(4)	(1) x (4)	(5)	(1) x (5)
สิ่งแวดล้อม	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO ₂)	0.1091	L (0.2)	0.0218	M (0.6)	0.0655	H (1.0)	0.1091	M (0.6)	0.0655
	มลพิษด้านเสียง	0.0799	H (1.0)	0.0799	H (1.0)	0.0799	H (1.0)	0.0799	H (1.0)	0.0799
	รวม	1.000		0.7651		0.5119		0.8219		0.5916

ตารางที่ 10 สรุปและเปรียบเทียบผลการจัดลำดับความสำคัญโครงการ

วิธี FMADM			วิธี BCA		
ลำดับที่	รหัสสายทาง	คะแนนรวม	ลำดับ	รหัสสายทาง	B/C
1	บก.3013	0.8219	1	บก.3004	1.22
2	บก.3004	0.7651	2	บก.3013	1.19
3	บก.5019	0.5916	3	บก.5019	1.12
4	บก.4011	0.5119	4	บก.4011	1.02

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าจากทั้งหมด 19 โครงการมีเพียง 4 โครงการเท่านั้นที่มีความคุ้มค่า เรียงลำดับจากโครงการก่อสร้างที่มีความคุ้มค่า (BCR มากกว่า 1) ที่สุด ได้แก่ โครงการก่อสร้าง สาย บก. 3004 บก.3013 บก.5019 และ บก.4011 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์นั้นอาจจะไม่เหมาะสมกับทางหลวงชนบทที่มีปริมาณจราจรน้อย เมื่อเปรียบเทียบลำดับความสำคัญของทั้ง 2 วิธีแล้วพบว่า มีลำดับความสำคัญที่สอดคล้องกัน แต่วิธีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์นั้นใช้เฉพาะปัจจัยที่สามารถแปลงเป็นเงินได้เท่านั้น ไม่มีการนำเอาปัจจัยด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมมาวิเคราะห์ ในขณะที่วิธีการ FMADM มีโครงสร้างการตัดสินใจจากหลักการพัฒนายั่งยืนที่สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ของกรมทางหลวงชนบท มีปัจจัยที่แปลงเป็นเงินได้และไม่ได้ มีการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มีโครงสร้างการตัดสินใจที่ชัดเจน มีการให้ค่าน้ำหนักของปัจจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ และลำดับความสำคัญโครงการขึ้นอยู่กับหลากหลายปัจจัย

ในการวิจัยครั้งต่อไป หากมีฐานข้อมูลที่มากพอ อาจมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยรองให้มีความหลากหลายมากขึ้น รวมถึงการจัดลำดับความสำคัญของโครงการโดยไม่ต้องคัดกรองโครงการที่มีความคุ้มค่า อาจทำให้ได้ลำดับความสำคัญที่แตกต่างไปจากวิธีวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพียงอย่างเดียว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ให้การสนับสนุนในด้านของงานวิจัย และบทความต่าง ๆ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. International Institute for Trade and Development. Sustainable Development [internet].2016 [update 2016; cite 2019 Jun 3]. Available from: https://www.parliament.go.th/ewtadmin/ewt/ac/download/article/article_20170626115405.pdf
2. Office of the National Economics and Social Development Council. The 20-Year National Strategy [internet].2017 [update 2017; cite 2019 Jun 3]. Available from: <https://spm.thaigov.go.th/FILEROOM/spm-thaigov/DRAWER004/GENERAL/DATA0000/00000362.PDF>
3. Department of Rural Roads. Project to hire consultants to develop rural road development plans for the department group 1-8 for the fiscal year 2017. Bangkok: Department of Rural Roads; 2017. 498p. Thai.
4. Bhandari SB, Shahi PB, Shrestha RN. Multi-criteria evaluation for ranking rural road projects: Case study of Nepal. IOSR J Mech Civ Eng. 2014;11(6):53–65.
5. Office of Transport and Traffic Policy and planning. A survey study of the master plan in the provincial town of Bueng Kan Province. Bangkok: Office of Transport and Traffic Policy and planning; 2017. 92 p. Thai
6. Klungboonkrong P. Sustainable Urban Transportation Planning: Principle and Practice. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2018. Thai.
7. Chotsakul S, Pattanamekha P, Horpibulsuk S. The Economy Evaluation of Rural Road Safety Improvements. The 24th National Convention on Civil Engineering; 2013 May 8-10; Chiang Mai, Thailand. Thai.
8. Office of the National Economic and Social Development Council. Guidelines and criteria for analyzing public investment projects Revised Edition 2012. Bangkok: Office of the National Economic and Social Development Council; 2012. 181 p. Thai.
9. Saaty TL. The Analytical Hierarchy Process. Priority setting, resource allocation. California: McGraw-Hill.; 1980.
10. Klungboonkrong P, Taylor MA. Application of an expert system in the multicriteria environmental sensitivity evaluation of urban road network. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. 1995;1(2): 469-486.
11. Chen SJ, Hwang CL. Fuzzy Multi Attribute Decision Making Methods and Applications. Berlin: Springer-Verlag.; 1992.
12. Lee D, Han S-J, Kim D-G. Evaluating prioritization of ASEAN highway network development using a fuzzy multiple attribute decision making method. J Adv Transp. 2011;45(2):129–142.
13. Bhandari SB, Nalmpantis D. Application of Various Multiple Criteria Analysis Methods for the Evaluation of Rural Road Projects. The Open Transportation Journal. 2018; 12:57–76.
14. UK DoT. Calculation of road traffic noise (ConRTN). London: UK Department of Transport, Welsh Office.; 1988.
15. Long S, Klungboonkrong P, Chindaprasirt P. Impacts of urban transit system development on modal shift and greenhouse gas (GHG) emission reduction A Khon Kaen, Thailand case study. Engineering and Applied Science Research. 2018; 45(1): 8-16.