

การคัดเลือกรูปแบบการปรับปรุงทางแยกที่เหมาะสมด้วยตัวชี้วัดประสิทธิภาพใน แบบจำลองการจราจรร่วมกับ Analytical Hierarchical Process (AHP)

The Selections of Appropriate Alternative Intersection Improvements Base on Effectiveness Measures of Traffic Models and Analytical Hierarchical Process (AHP)

พชร ศรีสุโพธิ์¹, วุฒิไกร ไชยปัญญา¹, ธนพล พรหมรักษา¹ และปฏิภาณ แก้ววิเชียร^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ในเมือง เมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

Patchara Srisupoh¹, Wuttikrai Chaipanha¹, Thanapol Promraksa¹ and Patiphan Kaewwichian^{1*}

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen
Campus, Nai Muang, Muang, Khon Kaen, 40000, Thailand

*Corresponding Author E-mail: patiphan.ka@rmu.ac.th

Received: Jun 20, 2022; Revised: Sep 06, 2022; Accepted: Sep 08, 2022

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกรูปแบบทางแยกที่เหมาะสมบริเวณจุดตัดโครงการก่อสร้างทางหลวงชนบท ม.4040 กับทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 ด้วยตัวชี้วัดประสิทธิภาพจากแบบจำลองการจราจรร่วมกับ Analytical Hierarchical Process (AHP) ผลการศึกษาพบว่า ผู้เชี่ยวชาญให้ค่าน้ำหนักด้านวิศวกรรมจราจรสูงสุด (0.5327) รองลงมา คือด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (0.2482) และด้านเศรษฐศาสตร์ (0.2191) ตามลำดับ โดยความล่าช้าบริเวณทางแยกเป็นปัจจัย รองที่มีค่าน้ำหนักความสำคัญสูงสุด (0.2278) ผลการให้คะแนนสรุปว่ารูปแบบทางเลือกที่ 2 สะพานข้ามทางแยกตามแนว ทล.12 เป็นรูปแบบที่มีความเหมาะสมสูงสุดซึ่งได้คะแนน 0.9736 หรือ 97.36% โดยมีความโดดเด่นในปัจจัยวิศวกรรม จราจรและราคาก่อสร้าง แต่มีข้อด้อยในปัจจัยด้านการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นรองรูปแบบ ทางเลือกที่ 3 และ 4 ทั้งนี้ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าตัวชี้วัดประสิทธิภาพจากแบบจำลองที่ใช้เป็นค่าตัวคูณของทุกปัจจัย สามารถให้ผลการคำนวณที่สมเหตุสมผล ตัดปัจจัยเชิงคุณภาพ ลดความยุ่งยากในการสำรวจ รวบรวมข้อมูล และการคำนวณ รวมทั้งจะเป็นอีกทางเลือกในการพิจารณาตัดสินใจคัดเลือกรูปแบบทางแยกต่อไป

คำสำคัญ: ทางแยก, แบบจำลองการจราจร, Analytical Hierarchy Process (AHP)

Abstract

This study was aimed at selecting the appropriate intersection alternative at the crossing of Rural Road construction project, MH.4040, and Highway No. 12, using the Measure of Effectiveness from the traffic simulation and the analytical hierarchical process. The study results showed that the experts gave the highest weight to traffic engineering (0.4327), the second highest weight to environmental impact (0.2482), followed by economics (0.2191). The delay at the intersection is the secondary factor that receives the highest weight (0.2278). It has been concluded that the second alternative, the overpass along Highway 12, is the most appropriate alternative, receiving the score of 0.9736 or 97.36%. This alternative is outstanding in terms of traffic engineering and construction

cost. However, there are the drawbacks in the fuel consumption and environmental impact of Alternative 2, which are worse than those of Alternatives 3 and 4. The results of the study indicated that the Measure of Effectiveness used in the traffic model, which included the multiplying parameters of all factors, could yield reasonable calculated outcomes. It omits the qualitative factor, reduces complexity in surveying and calculative, and will be another alternative for selection of an intersection system in the future.

Keywords: Intersection, Traffic simulation model, Analytical Hierarchy Process (AHP)

1. บทนำ

มุกดาหารเป็นเมืองศักยภาพในด้านการท่องเที่ยว และการค้าระหว่างประเทศ จากการที่มีพรมแดนติดเขตแดนริมฝั่งแม่น้ำโขงประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยมีจุดผ่านแดนบริเวณสะพานมิตรภาพไทย-ลาว จึงเป็นหนึ่งในจังหวัดที่มีการเติบโตทางเศรษฐกิจสูงอย่างมากของประเทศ ทั้งนี้ยังส่งผลให้ความต้องการในการเดินทางและปริมาณการใช้รถใช้ถนนในเขตเมืองเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ในปี พ.ศ.2563 จังหวัดมุกดาหารมีปริมาณรถจดทะเบียน 128,690 คัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2562 กว่าร้อยละ 4.1 [1] ในขณะที่ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักก็มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากเช่นกัน ดังจะเห็นได้จากปริมาณ

จราจรบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 ซึ่งเป็นเส้นทางหลักเข้าสู่เมืองมุกดาหารมีปริมาณจราจรเฉลี่ยทั้งวันตลอดทั้งปี (AADT) ในปี พ.ศ.2564 กว่า 16,134 คันต่อวัน [2]

กรมทางหลวงชนบทได้เล็งเห็นถึงปัญหาด้านการขนส่งและจราจรที่เกิดขึ้นกับเมืองมุกดาหาร จึงมีแผนดำเนินการก่อสร้างโครงการก่อสร้างถนนตามผังเมืองรวมสาย ง2 และ ง3 พังเมืองรวมเมืองมุกดาหาร หรือทางหลวงชนบท มห.4040 (รูปที่ 1) เพื่อให้บรรลุดัชนีประสิทธิผลตามแผนงานบูรณาการพัฒนาพื้นที่เขตเศรษฐกิจพิเศษโครงการพัฒนาทางหลวงชนบทเพื่อสนับสนุนเขตเศรษฐกิจพิเศษชายแดน เพื่อรองรับการขยายตัวของชุมชนและการเติบโตของตัวเมืองมุกดาหาร



รูปที่ 1 สภาพปัจจุบันของโครงการก่อสร้างทางหลวงชนบท มห.4040

จากผลการคาดการณ์ปริมาณการจราจรในอนาคตและระดับการให้บริการในปีที่ 20 (พ.ศ.2578) จากรายงานรายงานผลการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลในการคาดการณ์ปริมาณจราจร งานสำรวจออกแบบรายละเอียดและศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น(IEE) โครงการก่อสร้างถนนตามผังเมือง

รวม ถนนสาย ง2 และ ง3 พังเมืองรวมมุกดาหาร จังหวัดมุกดาหาร [3] พบว่า ทางแยกถนนโครงการฯ ตัดกับทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 มีระดับการให้บริการอยู่ในระดับ D และเป็นทางแยกที่มีปริมาณจราจรเข้าสู่ทางแยกสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับทางแยกอื่นๆ

ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้างต้นสะท้อนถึงโอกาสในการเกิดปัญหาการจราจรติดขัดที่ทางแยกในอนาคต ถึงแม้ว่าในการศึกษาดังกล่าวจะได้กำหนดแนวแก้ไขปัญหาการจราจรเบื้องต้นโดยการปรับปรุงรอบสัญญาณไฟจราจร แต่ด้วยสภาพการขยายตัวของเมืองและการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมากจากการศึกษาที่ได้ดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 จึงอาจมีความจำเป็นที่จะต้องทำการกำหนดรูปแบบใหม่ในการปรับปรุงทางแยกให้มีความเหมาะสมเพื่อรองรับปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

การวิเคราะห์และประเมินทางเลือกในการพัฒนาโครงข่ายถนนที่อยู่ในความรับผิดชอบของทั้งกรมทางหลวง (ทล.) และกรมทางหลวงชนบท (ทช.) ในปัจจุบันโดยส่วนใหญ่นอกจากจะพิจารณาตัวชี้วัดด้านการจราจรแล้ว จะประเมินและตัดสินใจโดยพิจารณาจากทางเลือกที่มีค่าคะแนนสูงสุด ด้วยวิธีการ Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) ซึ่งใช้ปัจจัยต่างๆ ร่วมในการให้คะแนนโดยตัวแปรและปัจจัยเหล่านี้จะถูกกำหนดให้เป็นเกณฑ์ในรูปแบบเชิงคุณภาพ (ไม่สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของทางเลือกในเชิงตัวเลขได้) บางปัจจัยมีความยุ่งยากในการสำรวจและรวบรวมข้อมูล หรือมีความซับซ้อนในประเมินหรือการคำนวณเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่ต้องการ

การศึกษานี้ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค (Traffic Micro Simulation Model) เป็นเครื่องมือเพื่อใช้วิเคราะห์ ประเมินผล และเสนอแนะรูปแบบทางแยก โดยใช้ทั้งตัวชี้วัดด้านการจราจร ด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองเพื่อให้ครอบคลุมการวิเคราะห์ในทุกมิติ ร่วมกับการประยุกต์ใช้ Analytical Hierarchy Process (AHP) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในกระบวนการ Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) เพื่อให้เป็นแนวทางเสนอแนะอีกรูปแบบหนึ่งในการจัดลำดับความสำคัญและการคัดเลือกรูปแบบของทางแยกที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งจะสามารถลดทอนความยุ่งยากและซับซ้อนในการวิเคราะห์และการรวบรวมข้อมูล ตลอดจนสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจต่อไป

2. วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ทางเลือกรูปแบบทางแยกที่เหมาะสมจากตัวชี้วัดประสิทธิภาพจากแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคร่วมกับ Analytical Hierarchy Process (AHP)

3. ทบทวนการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

3.1 Analytical Hierarchy Process (AHP)

3.1.1 คำนวณน้ำหนักความสำคัญ

Saaty (1980) [4] โครงสร้างการวิเคราะห์ AHP เป็นรูปแบบของเมตริกซ์ เมื่อ w_i และ w_j เป็นค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์หรือปัจจัยสัมพัทธ์ของการตัดสินใจสำหรับหลักเกณฑ์ i และ j ตามลำดับ (สมการที่ (1)) และเมื่อทำการเปรียบเทียบเป็นคู่เพื่อหา น้ำหนักความสำคัญ $a_{ij} = w_i / w_j$ และค่าของส่วนกลับ $a_{ji} = 1 / a_{ij}$ จะอยู่ในเมตริกซ์ $A = \{a_{ij}\}$ แสดงดังสมการที่ (2)

$$A = \begin{bmatrix} 1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j = \sum_{j=1}^n w_i = n w_i \quad (2)$$

ในเมตริกซ์คู่ A องค์ประกอบตามแนวเส้นทแยงมุมจะมีค่าเท่ากับ 1 ส่วนการเปรียบเทียบเป็นคู่ขององค์ประกอบการตัดสินใจในส่วนล่างของเส้นทแยงมุมจะเป็นส่วนกลับของการเปรียบเทียบเป็นคู่ขององค์ประกอบส่วนบนของเส้นทแยงมุม

3.1.2 การวิเคราะห์ค่าน้ำหนักคะแนนของรูปแบบทางเลือก

การวิเคราะห์ค่าน้ำหนักคะแนนของรูปแบบทางเลือกสามารถหาได้จากการสังเคราะห์ข้อมูลแต่ละรูปแบบทางเลือก ดังแสดงในสมการที่ (3) และ (4)

$$W_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1.0 \quad (4)$$

เมื่อ

W_i คือ น้ำหนักคะแนนของแต่ละหลักเกณฑ์

V_i คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

n คือ จำนวนตัวเลขที่นำมาหาค่าเฉลี่ย

3.1.3 การวิเคราะห์ความสอดคล้องกัน

การคำนวณหาความสอดคล้องกันของเหตุผลในการให้คะแนนของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนทำได้โดยการเปรียบเทียบหลักเกณฑ์ทั้งหมด แล้วนำผลรวมของค่าวิจักษณ์ของแต่ละหลักเกณฑ์ในแนวนอนแต่ละแถวคูณด้วยผลรวมของค่าเฉลี่ยในแนวนอนแต่ละแถว แล้วนำเอาผลคูณที่ได้มารวมกัน ผลลัพธ์จะเท่ากับจำนวนหลักเกณฑ์ทั้งหมดที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ ผลรวมนี้ของค่าวิจักษณ์นี้เรียกว่า Largest Eigenvalue ($\lambda_{\max}$) ดังแสดงในสมการที่ (5)

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \{ (\sum_{j=1}^n a_{ij}) * w_i \} \quad (5)$$

เมื่อ

$\lambda_{\max} = n$ คือ ตารางเมตริกซ์มีความสอดคล้องกัน

$\lambda_{\max} > n$ คือ ไม่มีความสอดคล้องกัน

ดัชนี ความ สอด ค ลั ง (Consistency Index; CI) วิเคราะห์ได้จากสมการที่ (6)

$$C.I. = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} \quad (6)$$

อัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio; CR) วิเคราะห์ได้จากสมการที่ (7)

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.C.I.} \quad (6)$$

เมื่อ

R.C.I. = ดัชนีความเที่ยงตรงสุ่ม (Random Consistency Index) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าดัชนีความสอดคล้องจากการสุ่มตัวอย่าง

จำนวนปัจจัย	1	2	3	4	5
R.C.I	0.00	0.00	0.52	0.90	1.12

เกณฑ์การวิเคราะห์ความสอดคล้องกันของเหตุผลสามารถทำได้โดยพิจารณาจากจำนวนปัจจัย ถ้าจำนวนหลักเกณฑ์เท่ากับ 3 ค่า C.R. ไม่ควรเกิน 7% และถ้าจำนวนหลักเกณฑ์เกินกว่า 4 ค่า C.R. ไม่ควรเกิน 10% ทั้งนี้ถ้าหาก C.R. มีค่าเกินกว่ามาตรฐานดังกล่าว แสดงว่าเหตุผลนั้นไม่มีความสอดคล้องกัน ต้องทบทวนการวินิจฉัยใหม่ [5]

3.2 แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค (Traffic Micro Simulation Model)

3.2.1 หลักการพื้นฐานของแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค

Dowling et al. [6] การจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคมีหลักการพื้นฐานมาจากแบบจำลอง Car-Following Model และ Lane-Changing Model เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของขบวนยานแต่ละคัน Burghout [7] สามารถอธิบายสภาพการจราจรระดับพฤติกรรมของขบวนยานแต่ละคันที่มีปฏิสัมพันธ์กับขบวนยานคันอื่นๆ และสภาพถนนและสิ่งอำนวยความสะดวก The Institution of Highways & Transportation (2006) [8] ซึ่งมักถูกใช้สำหรับทดสอบปัญหาการจราจรที่มีความซับซ้อน สามารถแสดงทั้งในรูปแบบสองมิติและสามมิติ ตัวอย่างซอฟต์แวร์ของแบบจำลองระดับกึ่งจุลภาค เช่น Paramics VISSIM และ Aimsun เป็นต้น

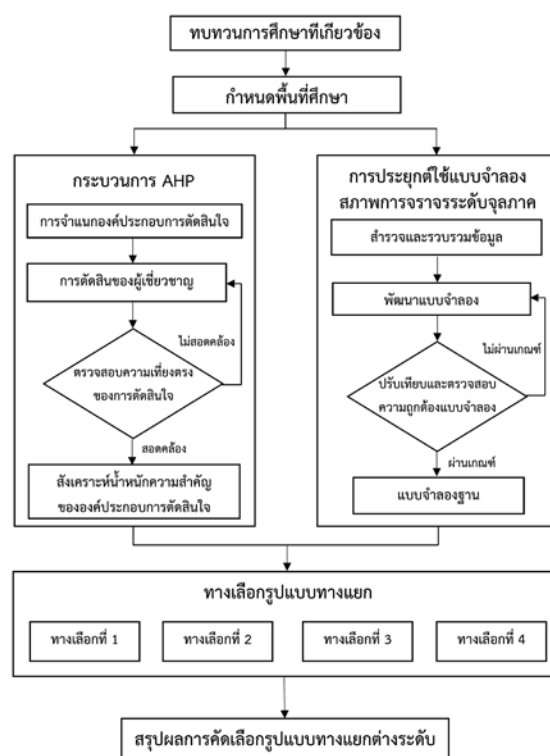
3.2.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์ทางแยก

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์ทางแยกหลายๆ รูปแบบในประเทศไทย เช่น Kojima et al. [9] ศึกษาเรื่องการประเมินผลการใช้วงเวียนด้วยแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค ในเขตอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งพบว่า เวลาในการเดินทางก่อนติดขัดและหลังติดขัดวงเวียน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ วราศักดิ์ ปะสังคิโย [10] วิเคราะห์การจัดการจราจรสำหรับรถจักรยานยนต์บริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจร โดยกำหนดมาตรการกำหนดพื้นที่เฉพาะหยุดรอสัญญาณไฟจราจรสำหรับรถจักรยานยนต์ และการกำหนดช่องทางเฉพาะสำหรับรถจักรยานยนต์ด้านซ้าย ร่วมกับการกำหนดให้รถจักรยานยนต์วิ่ง Hook Turn (การขับตรงไปก่อน แล้วจึงเลี้ยวผ่านทางแยก) ซึ่งทั้งสองมาตรการ

สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระดับการให้บริการที่ทางแยกได้ ชัยวัฒน์ ไชยบุค และประเมศวร์ เหลือเทพ [11] เสนอแนวทางการวิเคราะห์การจัดการจราจรของชุดทางแยกต่อเนื่อง โดยใช้ถนนกาญจนาภิเษยช่วงระหว่างแยกคลองเรียนถึงแยกหน้ามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยใช้แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค โดยพบว่า การจัดการจราจรแบบชุดทางแยกสามารถลดเวลาในการเดินทาง ความล่าช้า และความยาวแถวคอยของทุกทางแยก ได้เฉลี่ยร้อยละ 31.27 และ 32 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีอีกหลายการศึกษา [12–14] ที่กล่าวถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคในการวิเคราะห์หรือจัดการจราจรบริเวณทางแยก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคเป็นเครื่องมือที่มีความน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพ ในการประเมินตัวชี้วัดด้านการจราจรบริเวณทางแยก และเหมาะสมที่จะใช้ในการศึกษาในครั้งนี้เช่นกัน

4. วิธีการวิจัย

การศึกษานี้ได้ทำการทบทวนการศึกษาที่เกี่ยวข้องรวมถึงผลการศึกษาและคาดการณ์ปริมาณการจราจรในอนาคตโครงการก่อสร้างถนนตามผังเมืองรวมถนนสาย ง2 และ ง3 ผังเมืองรวมเมืองมุกดาหาร (ทางหลวงชนบท มห. 4040) จังหวัดมุกดาหารที่จัดทำโดยกรมทางหลวงชนบท ในปี พ.ศ.2552 และนำข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก ในปี พ.ศ. 2578 (ปีที่ 20 หลังจากเปิดโครงการ) ที่ได้จากรายงานดังกล่าวมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองระดับจุลภาค จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคมาร่วมกับ Analytical Hierarchy Process (AHP) โดยการคัดเลือกบุคคลที่มีความรู้และประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญ ในการทำการเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของหลักเกณฑ์ที่กำหนดให้โดยจะต้องปราศจากความโน้มเอียง ซึ่งนำมาสู่ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องแม่นยำ วิธีการดำเนินการวิจัยครั้งนี้แสดงดังรูปที่ 2 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 พื้นที่ศึกษา

ทางแยกถนนโครงการฯ ตัดกับทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 มีจุดเริ่มต้นที่ถนนวิวิศสุการ บรรจบกับถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2034 ระยะทางประมาณ 7.5 กิโลเมตร ลักษณะทางกายภาพของทางแยกเป็นจุดตัดกันของทางหลวงหมายเลข 12 ซึ่งมีขนาด 4 ช่องจราจร ตัดกับถนนโครงการฯ ผิวจราจรเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 4 ช่องจราจรเช่นกัน โดยกำหนดให้มีการควบคุมการจราจรบริเวณทางแยกด้วยระบบสัญญาณไฟจราจรเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ อย่างไรก็ตามผลการศึกษาและคาดการณ์ปริมาณการจราจรในอนาคต โครงการก่อสร้างถนนตามผังเมืองรวมถนนสาย ง2 และ ง3 ผังเมืองรวมเมือง มุกดาหาร [3] ระบุว่าหลังจากบริการจะมีระดับการให้บริการอยู่ในระดับ D ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาการจราจรติดขัดพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 พื้นที่ศึกษา

4.2 การประยุกต์ใช้หลักการ AHP ในการตัดสินใจ

4.2.1 การจำแนกองค์ประกอบและโครงสร้างการตัดสินใจลำดับชั้น

องค์ประกอบในการตัดสินใจหรือปัจจัยที่ใช้การคัดเลือกรูปแบบทางแยกด้วยวิธี AHP ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ปัจจัยด้านวิศวกรรมจราจร ด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดปัจจัยรองที่มีลักษณะเป็นอันดับ ซึ่งทำให้การให้

ค่าตัวคูณของปัจจัยขึ้นอยู่กับมุมมองของผู้ให้ค่าตัวคูณจนอาจทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้อยู่ภายใต้ข้อคิด งานวิจัยนี้จึงกำหนดหลักปัจจัยรองด้านต่างๆ โดยพิจารณาจากผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองระดับจุลภาคทั้งหมด อย่างไรก็ตามเนื่องจากมูลค่าในการก่อสร้างนับเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมากต่อการพิจารณาคัดเลือกรูปแบบทางแยกหรือโครงการ มูลค่าในการก่อสร้างจึงถูกนำมาพิจารณาดูเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่ใช้การคัดเลือกรูปแบบทางแยกจากผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองระดับจุลภาค

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยรอง	คำอธิบาย	ค่าผลลัพธ์ที่ใช้จากแบบจำลอง PTV Vissim (หน่วย)
ด้านวิศวกรรมจราจร	ระยะเวลาในการเดินทางผ่านทางแยก (Travel Time)	เป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงระยะเวลาที่ใช้ในการขับขี่หรือเดินทางผ่านทางแยกตั้งแต่จุดเริ่มต้นถึงจุดสิ้นสุดเฉลี่ยทุกคู่ทิศทาง	Travel time [sec]
	ความล่าช้าบริเวณทางแยก (Delay)	เป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงความคล่องตัว การชะลอตัวหรือความติดขัดบริเวณทางแยกเฉลี่ยทุกคู่ทิศทาง	Vehicle delay [sec/veh]
	ความยาวแถวคอย บริเวณทางแยก (Queue Length)	เป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงระดับของความติดขัดของทางแยกจุดที่สะท้อนในแง่ของความยาวแถวคอย	Queue length [m.]

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่ใช้การคัดเลือกรูปแบบทางแยกจากผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองระดับจุลภาค(ต่อ)

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยรอง	คำอธิบาย	ค่าผลลัพธ์ที่ใช้จากแบบจำลอง PTV Vissim (หน่วย)
ด้านเศรษฐศาสตร์	การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Consumption)	เป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของยานพาหนะ	Fuel consumption [US liquid gallon]
	เวลาและปริมาณการเดินทางบนช่วงทาง (VHT)	เป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากยวดยานที่ขับขี่ในโครงข่าย	All Vehicle × All Travel time (veh-sec)
	งบประมาณในการก่อสร้าง	เป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงงบประมาณที่ใช้ในการดำเนินการทั้งหมดได้แก่ ค่าก่อสร้าง ค่าเวนคืน และค่าร้อยละสาธารณูปโภค (อ้างอิงจากโครงการก่อสร้างที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน)	-
ด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม	การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)	เป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เกิดจากการขับขี่ในโครงข่าย	EmissionsCO [grams]
	การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	เป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการขับขี่ในโครงข่าย	[grams/s]
	การปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO _x)	เป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซจำพวกไนโตรเจนออกไซด์ จากการขับขี่ในโครงข่าย	EmissionsNO _x [grams]
	การปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC)	เป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงปริมาณการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากการขับขี่ในโครงข่าย	EmissionsVOC [grams]

โดยค่าก่อสร้างจากตัวอย่างโครงการอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยรูปแบบทางแยกแบบสะพานข้ามทางแยก (Overpass) ใช้งบประมาณในการก่อสร้างประมาณ 320 ล้านบาท และรูปแบบทางแบบแบบทางลอด (Underpass) ใช้งบประมาณในการก่อสร้างประมาณ 700 ล้านบาท [15] ในขณะที่การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) หน่วยเป็นกรัม/วินาที (grams/sec) คำนวณจากสมการอรรถประโยชน์ [16] ดังสมการที่ (8)–(10)

$$\ln (ER_{MC})=0.269 + 0.005u - 0.548a \quad (8)$$

$$\ln (ER_{Gasoline})=-1.003+0.005u - 0.51a \quad (9)$$

$$\ln (ER_{Diesel})=-0.269+0.028u - 0.193a \quad (10)$$

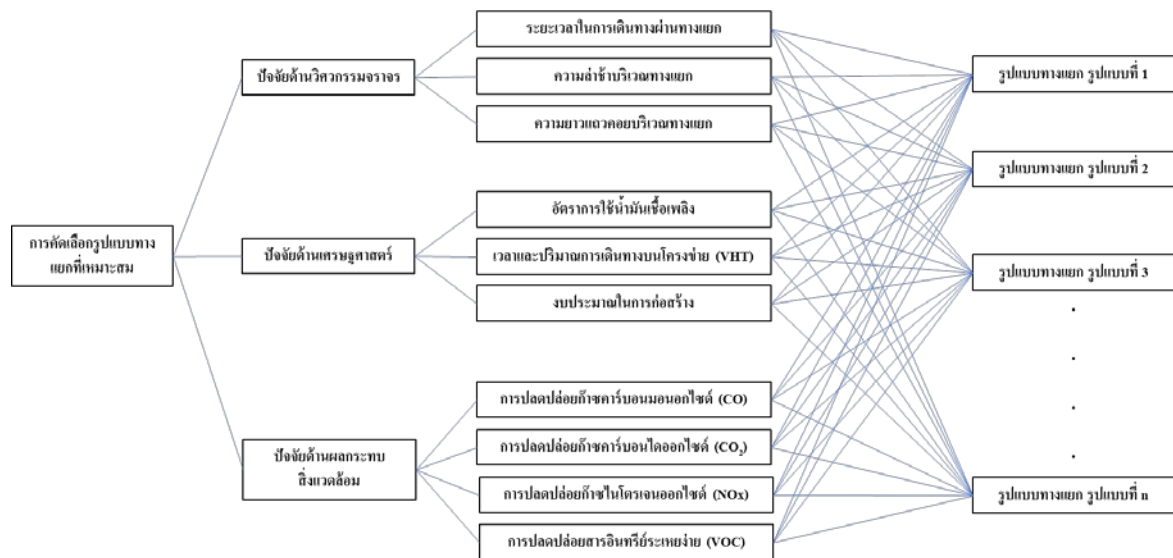
เมื่อ

ER = อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยานพาหนะ (Emission Rate) (grams/sec)

u = ความเร็ว (km/hr)

a = อัตราเร่ง (m/s²)

จากปัจจัยที่ใช้การคัดเลือกรูปแบบทางแยกข้างต้น การศึกษาได้จำแนกองค์ประกอบต่างๆ ออกเป็นส่วนย่อยเป็น โครงสร้างการตัดสินใจ (Hierarchy Structure) ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์กันขององค์ประกอบในการตัดสินใจแบบลำดับชั้นจากซ้ายไปขวา ตามแผนภูมิโครงสร้างการตัดสินใจแบบลำดับชั้น แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภูมิโครงสร้างการตัดสินใจแบบลำดับชั้น

4.2.2 การจัดลำดับความสำคัญ

การให้น้ำหนักความสำคัญในแต่ละองค์ประกอบ การตัดสินใจในแต่ละระดับชั้น โดยอาศัยการเปรียบเทียบ น้ำหนักความสำคัญในระดับชั้นเดียวกันเป็นคู่จากการ สัมภาษณ์ผู้ตัดสินใจหรือผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน ข้อดีที่สำคัญ ประการหนึ่งของ AHP คือ ขนาดตัวอย่างหรือจำนวน ผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่จำเป็นต้องมีนัยสำคัญ ทางสถิติ โดยจำนวนผู้เชี่ยวชาญไม่ได้มีความสำคัญเท่ากับ คุณภาพของผู้เชี่ยวชาญ [17] Greenbaum (1993) and Melon et al. (2008) [18–19] ระบุว่าผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5-7 คน ถือว่าเชื่อถือได้ เนื่องจากการมีข้อมูลมากเกินไปทำให้การ จัดการข้อมูลยุ่งยาก และมีค่าใช้จ่ายสูงเกินความจำเป็น

ในการศึกษาได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์ ผู้เชี่ยวชาญ ทั้งสิ้น จำนวน 15 ท่าน ซึ่งเป็นผู้ที่มีความรู้และ ประสบการณ์ครอบคลุมทุกมิติในการวิเคราะห์และ พิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการคัดเลือกรูปแบบทางแยก โดย กำหนดสัดส่วนของผู้เชี่ยวชาญให้มีความใกล้เคียงกัน แยก เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมจราจร จำนวน 5 คน ด้าน เศรษฐศาสตร์ จำนวน 5 คน และด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จำนวน 5 คน โดยการพิจารณาค่าคะแนนระดับความสำคัญ ของปัจจัยหลักสำหรับการเปรียบเทียบเป็นคู่เพื่อให้ค่า คะแนนน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการ คัดเลือกรูปแบบทางแยก ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าคะแนนระดับความสำคัญของปัจจัยหลัก สำหรับการเปรียบเทียบเป็นคู่ [4]

ค่าคะแนน ความสำคัญ เปรียบเทียบ	ค่าจำกัด ความ	คำอธิบาย
1	สำคัญ เท่ากัน	ทั้งสองปัจจัยมีผลเท่ากัน
3	สำคัญกว่า ปานกลาง	ปัจจัยหนึ่งสำคัญมากกว่า ปัจจัยหนึ่งปานกลาง
5	สำคัญกว่า มาก	ปัจจัยหนึ่งสำคัญมากกว่า ปัจจัยหนึ่งมาก
7	สำคัญกว่า มากมาก	ปัจจัยหนึ่งสำคัญมากกว่า ปัจจัยหนึ่งมากมาก
9	สำคัญ สูงสุด	มีหลักฐานสนับสนุน ความพึงพอใจในปัจจัย หนึ่งสำคัญกว่าปัจจัยหนึ่ง มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้
2, 4, 6, 8	เพื่อลดช่วง การ พิจารณา ให้มีความ เหมาะสม	เพื่อลดช่องว่างในการ วินิจฉัยเปรียบเทียบใน ลักษณะที่กำกวม และ ไม่ สามารถอธิบายด้วยคำพูด ที่เหมาะสม

4.2.3 การสังเคราะห์น้ำหนักความสำคัญ

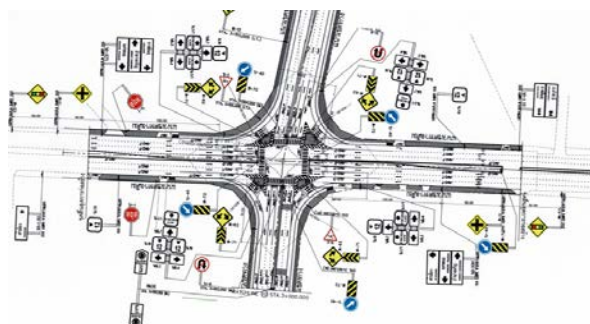
เมื่อได้ค่าน้ำหนักความสำคัญแต่ละปัจจัยรอง จะทำ ประยุกต์ใช้ “Principle of Hierarchy Composition” ในการ ประมวลผลการให้น้ำหนักความสำคัญแต่ละค่าของปัจจัย เป็นน้ำหนักความสำคัญสัมพัทธ์รวม เพื่อนำไปพิจารณาหา รูปแบบทางเลือกที่ดีที่สุด โดยพิจารณาค่าคุณสมบัติหรือ ประสิทธิภาพของแต่ละรูปแบบทางเลือกจากผลลัพธ์ที่ได้ จากแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค ซึ่งจะกล่าวถึงใน หัวข้อถัดไป

4.3 พัฒนาแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค

4.3.1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล

1) ข้อมูลกายภาพทางแยก

การศึกษานี้ทำการรวบรวมลักษณะทางกายภาพบริเวณ ทางแยกจากแบบแปลนก่อสร้างในโครงการฯ (รูปที่ 5) เพื่อนำข้อมูลไปสร้างแบบจำลอง ในโปรแกรม PTV VISSIM เช่น ความกว้างช่องจราจร จำนวนช่องจราจร และ เกาะกลางถนน เป็นต้น



รูปที่ 5 แบบแปลนบริเวณทางแยกโครงการฯ [3]

2) ข้อมูลปริมาณจราจร

การศึกษานี้ทำการกำหนดปริมาณจราจรนำเข้า จากผล การศึกษาและคาดการณ์ปริมาณการจราจรในอนาคตของ ถนนโครงการฯ ในปี 20 โดยมีการปรับแก้ปริมาณจราจร ให้สอดคล้องกับสภาพการจราจรและการเติบโตของเมือง ในปัจจุบัน

3) ความเร็วเฉพาะจุด (Spot Speed)

ความเร็วเฉพาะจุด (Spot Speed) คือ ความเร็วขณะใด ขณะหนึ่งของรถที่วิ่งผ่าน ณ จุดใดจุดหนึ่งบนถนน โดยการ สำรวจข้อมูลแยกประเภทรถเป็น 3 ประเภท ได้แก่

รถจักรยานยนต์ (MC) รถยนต์ส่วนบุคคล (PC) และรถขนาดใหญ่ (HV) การสำรวจความเร็วเฉพาะจุดใช้ปืนจับความเร็ว (Radar Speed Gun) เพื่อใช้กำหนดเป็นความเร็วที่ต้องการ (Desired Speed) จำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมควรเก็บข้อมูล อย่างน้อยจำนวน 50 คัน หรือโดยทั่วไปที่นิยม คือ จำนวน 100 คัน Choudhury [20] โดยการสำรวจข้อมูลควรดำเนินการ ในช่วงที่ไม่มีอิทธิพลของสภาพอากาศ อุบัติการณ์ และปัจจัย อื่นที่รบกวนการไหลของกระแสจราจร WSDT [21] ใน การศึกษาจะทำการสำรวจความเร็วเฉพาะจุด แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ความเร็วในการไหลอิสระ (Free Flow Speed) และความเร็วในการเลี้ยว (Turning Speed)

4) ระยะหยุดนิ่งเฉลี่ย (Average standstill distance)

ในการปรับเทียบตัวแปรสำคัญในแบบจำลอง Following model กรณีที่เป็นทางแยกในเขตเมืองใน โปรแกรม VISSIM ขึ้นอยู่กับตัวแปรในแบบจำลอง Wiedemann 74 Model Parameters (แบบจำลองนี้ปรับปรุง จากแบบจำลอง Wiedemann's 1974 car following model) โดยมีตัวแปรสำคัญ คือ Average standstill distance หรือ ระยะหยุดนิ่งเฉลี่ย ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีความอ่อนไหวและมี ผลทำให้แบบจำลองเกิดคลาดเคลื่อนได้ [22] การศึกษานี้จึง ได้ทำการสำรวจระยะหยุดนิ่งเฉลี่ย ซึ่งเป็นระยะห่าง ระหว่างรถสองคันโดยวัดจากกันชนหลังของรถคันหน้าถึง กันชนหน้าของรถคันหลัง Tony [23] การกำหนดหรือ ปรับเปลี่ยนค่า CC0 (Standstill Distance) มีสองทางเลือก คือ (1) การเก็บสำรวจข้อมูลในพื้นที่ศึกษาด้วยวิธีบันทึก วิดีโอในบริเวณที่การหยุดและเคลื่อนที่ของขบวน และ วัดค่าระยะห่างระหว่างขบวนที่หยุดสนิท อย่างน้อย 100 ตัวอย่าง Park and Schneeberger [24] ค่าเริ่มต้นของ Average Standstill Distance เท่ากับ 2.0 เมตร ช่วงที่ยอมรับ ได้คืออยู่ระหว่าง 1.0–3.0 เมตร ค่าที่น้อยหรือมากกว่านี้ถือว่า ไม่มีความสมเหตุสมผล โดยในการศึกษานี้ได้ผลการ สำรวจระยะหยุดนิ่งเฉลี่ย เท่ากับ 2.5 เมตร

4.3.2 การสร้างแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค

การสร้างแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคมีขั้นตอน ที่สำคัญ เช่น การสร้างโครงข่ายถนนในแบบจำลองการ กำหนดความเร็ว การกำหนดชนิดของยานพาหนะ การ

นำเข้าปริมาณจราจร กำหนดเส้นทางวิ่งของยานพาหนะ การสร้างพื้นที่ลดความเร็ว การสร้างพื้นที่ระงับการตัดกันของยานพาหนะ การติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจร และการกำหนดค่าที่ต้องการเก็บผลลัพธ์ เป็นต้น

4.3.3 การเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเป็นกระบวนการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรบางตัวในแบบจำลองการตรวจสอบความสอดคล้องของผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองให้มีค่าที่ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงที่สุด ซึ่งผลที่ได้ต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในการศึกษานี้ได้ใช้ปริมาณจราจรเป็นตัวชี้วัดในการเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งมีผลค่า GEH 0.11–1.12 และมีร้อยละของความแตกต่างเฉลี่ยร้อยละ 4.75 โดยแบบจำลองฐานที่ได้พัฒนาขึ้นดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แบบจำลองฐานที่ได้ทำการเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องแล้ว

4.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค

การศึกษานี้ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคที่ได้ทำการเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องแล้วในการสร้างรูปแบบทางแยก โดยได้นำเสนอรูปแบบทางแยกทั้งหมด 4 รูปแบบ ดังนี้

4.4.1 รูปแบบที่ 1 ทางลอดทางแยก (Underpass) ตามแนวถนนทางหลวงหมายเลข 12

เป็นรูปแบบทางแยกต่างระดับแบบทางลอดทางแยกตามแนวถนนทางหลวงหมายเลข 12 ขนาด 4 ช่องจราจร (รูปที่ 7) รูปแบบนี้สามารถก่อสร้างได้โดยไม่ต้องมีการ

เวนคืนเพิ่มเติม และยังไม่บังคับทัศนียภาพ แต่อาจส่งผลกระทบต่อการจราจรระหว่างก่อสร้าง การบำรุงรักษาค่อนข้างยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูง



รูปที่ 7 รูปแบบที่ 1 ทางลอดตามแนว ทล.12

4.4.2 รูปแบบที่ 2 สะพานข้ามทางแยก (Overpass) ตามแนวทางหลวงหมายเลข 12

เป็นรูปแบบทางแยกต่างระดับแบบสะพานข้ามทางแยก ก่อสร้างในแนวทางหลวงหมายเลข 12 ขยะดับข้ามบริเวณทางแยก ขนาด 4 ช่องจราจร (รูปที่ 8) รูปแบบนี้ไม่จำเป็นต้องเวนคืนที่ดินเช่นเดียวกับรูปแบบที่ 1 นอกจากนี้ยังง่ายต่อการบำรุงรักษาในอนาคต ข้อเสียของรูปแบบนี้คือลักษณะทางกายภาพของสะพานข้ามแยกที่มีความสูงเสียด้านสะพานทำให้บังคับทัศนียภาพ



รูปที่ 8 รูปแบบที่ 2 สะพานข้ามทางแยกตามแนว ทล.12

4.4.3 รูปแบบที่ 3 ทางลอดทางแยก (Underpass) ตามแนวถนนทางหลวงชนบท มท.4040

เป็นรูปแบบทางแยกต่างระดับแบบทางลอดทางแยกตามแนวถนนทางหลวงชนบท มท.4040 ขนาด 4 ช่องจราจร (รูปที่ 9) รูปแบบนี้มีผลกระทบ ค่าก่อสร้าง และการบำรุงรักษาเช่นเดียวกันกับรูปแบบที่ 1 ซึ่งจะแตกต่างในด้านของทิศทางในการรองรับปริมาณจราจรและให้บริการ

สัญญาณ เปลี่ยนมาเป็นตามแนวถนนทางหลวงชนบท มห.
4040



รูปที่ 9 รูปแบบที่ 3 ทางลอดตามแนวทางหลวงชนบท มห.
4040

4.4.4 รูปแบบที่ 4 สะพานข้ามทางแยก (Overpass) ตามแนวทางหลวงชนบท มห.4040

เป็นรูปแบบทางแยกต่างระดับแบบสะพานข้ามทาง
แยก ก่อสร้างในแนวทางหลวงชนบท มห.4040 ขยกระดับ
ข้ามบริเวณทางแยก ขนาด 4 ช่องจราจร (รูปที่ 10) รูปแบบ
นี้มีผลกระทบ ค่าก่อสร้าง และการบำรุงรักษาเช่นเดียวกัน
กับรูปแบบที่ 2 ซึ่งจะแตกต่างในด้านของทิศทางการ
รองรับปริมาณจราจรและให้บริการสัญญาณ เปลี่ยนมาเป็น
ตามแนวถนนทางหลวงชนบท มห.4040



รูปที่ 10 รูปแบบที่ 4 สะพานข้ามทางแยกตามแนว ทาง
หลวงชนบท มห.4040

5. ผลการศึกษา

5.1 ผลการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญตามวิธี AHP

หลังจากทำการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 15 คน ที่ให้ค่า
น้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยตามวิธี AHP และได้ทำ
การตรวจสอบความสอดคล้องด้วยอัตราส่วนความสอดคล้อง
(Consistency Ratio, C.R.) ซึ่งต้องมีค่า C.R. น้อยกว่า 0.10 และ
สอดคล้องของข้อมูลแบบกลุ่มด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเรขาคณิตที่มี
อัตราส่วนความสอดคล้องของกลุ่มมีค่า G.C.R. (Group
Consistency Ratio) น้อยกว่า 0.10 เช่นกัน ก่อนนำไปสู่การ
คำนวณหาค่าคะแนนในกระบวนการคัดเลือกรูปแบบทางแยก
ต่อไป โดยการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลักและ
ปัจจัยรอง ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 น้ำหนักความสำคัญของตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่ใช้ในการพิจารณาคัดเลือกรูปแบบทางแยก

ปัจจัยหลัก	ค่าน้ำหนัก ปัจจัยหลัก(1)	ปัจจัยรอง	ค่า น้ำหนัก ปัจจัยรอง (2)	ค่าน้ำหนัก (1) × (2)
ด้านวิศวกรรมจราจร	0.5327	ระยะเวลาในการเดินทางผ่านทางแยก	0.3184	0.1696
		ความล่าช้าบริเวณทางแยก	0.4277	0.2278
		ความยาวแถวคอย บริเวณทางแยก	0.2539	0.1353
ด้านเศรษฐศาสตร์	0.2191	การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง	0.2303	0.0505
		เวลาและปริมาณการเดินทางบนช่วงทาง (VHT)	0.2735	0.0599
		งบประมาณในการก่อสร้าง	0.4962	0.1087
ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	0.2482	การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	0.3244	0.0805
		การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	0.1893	0.0470
		การปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO _x)	0.2726	0.0677
		การปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC)	0.2137	0.0530
รวม	1.0000	รวม		1.0000

5.1.1 ผลการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญปัจจัยหลัก

ผลการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญปัจจัยหลัก พบว่า ผู้เชี่ยวชาญให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลักด้านวิศวกรรมสูงสุดเท่ากับ 0.5327 (53.27%) รองลงมาคือ ปัจจัยหลักด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีค่าน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 0.2482 (24.82%) และปัจจัยหลักด้านเศรษฐศาสตร์ มีค่าน้ำหนักต่ำสุด เท่ากับ 0.2191 (21.91%) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญให้ความสำคัญของปัจจัยทางด้านวิศวกรรมเป็นลำดับแรกในการพิจารณาคัดเลือกรูปแบบทางแยก

5.1.2 ผลการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญปัจจัยด้านวิศวกรรมจราจร

สำหรับการพิจารณาให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองด้านวิศวกรรมจราจร พบว่า ความล่าช้าบริเวณทางแยก มีค่าน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 0.2278 (22.78%) รองลงมาคือระยะเวลาในการเดินทางผ่านทางแยก และความยาวแถวคอยบริเวณทางแยก โดยมีค่าคะแนนความสำคัญ เท่ากับ 0.1696 (16.96%) และ 0.1353 (13.53%) ตามลำดับ

5.1.3 ผลการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์

ผลการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า ผู้เชี่ยวชาญให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของงบประมาณในการก่อสร้าง มีค่าเท่ากับ 0.1087 ซึ่งมีค่าสูงกว่าปัจจัยอื่นๆ อย่างมาก ส่วนปัจจัยอื่นๆ มีค่าน้ำหนักความสำคัญใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 0.0505–0.0599

5.1.4 ผลการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญปัจจัยด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ผลการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม พบว่า ผู้เชี่ยวชาญให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยด้านการปลดปล่อยก๊าซ

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สูงสุด เท่ากับ 0.0805 รองลงมา เป็นปัจจัยด้านการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) มีค่าน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 0.0677 โดยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีค่าน้ำหนักความสำคัญเป็นลำดับต่ำสุด เท่ากับ 0.0470

5.2 ผลการวิเคราะห์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพจากแบบจำลอง

ในหัวข้อนี้ ได้นำค่าผลลัพธ์ที่ใช้จากแบบจำลอง PTV VISSIM ของปัจจัยรองต่างๆ มาวิเคราะห์ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (AHP) โดยมีค่าผลลัพธ์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพจากการประมวลผลในแบบจำลองสรุปได้ดังนี้

5.2.1 ผลการวิเคราะห์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพปัจจัยด้านวิศวกรรมจราจร

ค่าผลลัพธ์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพปัจจัยด้านวิศวกรรมจราจรจากการประมวลผลในแบบจำลอง พบว่า รูปแบบทางเลือกที่ 2 เป็นทางเลือกที่มีค่าผลลัพธ์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพโดยรวมดีที่สุด โดยมีค่าระยะเวลาในการเดินทางผ่านทางแยก และความล่าช้าบริเวณทางแยกต่ำกว่า รูปแบบทางเลือกอื่น แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาจากความยาวแถวคอยบริเวณทางแยก รูปแบบทางเลือกที่ 2 ยังเป็นรองรูปแบบทางเลือกที่ 3 และ 4 เล็กน้อย

ทั้งนี้ด้วยลักษณะทางกายภาพของทางหลวงชนบท มห. 4040 ซึ่งมีจำนวนช่องจราจรที่เข้าสู่ทางแยกที่น้อยกว่า ทล.12 เมื่อไม่มีทางต่างระดับตามแนวทางหลวงชนบท มห.4040 จึงทำให้ความยาวแถวคอยโดยภาพรวมสูงกว่ารูปแบบทางเลือกที่ 3 และ 4 อย่างไรก็ตามการมีทางต่างระดับตามแนว ทล.12 ของรูปแบบทางเลือกที่ 1 และ 2 จะทำให้ความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรและการลดการชะลอตัวของของขบวนโดยรวมน่าได้ดีกว่า โดยทุกรูปแบบทางเลือกมีค่าผลลัพธ์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพปัจจัยด้านวิศวกรรมจราจรที่ดีกว่าสภาพปัจจุบันอย่างมาก ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าผลลัพธ์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพปัจจัยด้านวิศวกรรมจราจรจากการประมวลผลในแบบจำลอง

รูปแบบทางเลือก	Travel time [sec]	Vehicle delay [sec/veh]	Queue length [m.]
สภาพปัจจุบัน ติดตั้งสัญญาณไฟจราจร	190.08	58.96	65.41
รูปแบบทางเลือกที่ 1 ทางลอดตามแนว ทล.12	169.45	38.54	50.82
รูปแบบทางเลือกที่ 2 สะพานข้ามทางแยกตามแนว ทล.12	167.98	36.97	49.92

ตารางที่ 5 ค่าผลลัพธ์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพปัจจัยด้านวิศวกรรมจราจรจากการประมวลผลในแบบจำลอง(ต่อ)

รูปแบบทางเลือก	Travel time [sec]	Vehicle delay [sec/veh]	Queue length [m.]
รูปแบบทางเลือกที่ 3 ทางลอดตามแนว ทางหลวงชนบท มท.4040	173.60	42.50	45.64
รูปแบบทางเลือกที่ 4 สะพานข้ามทางแยกตามแนว ทางหลวงชนบท มท.4040	173.10	42.04	44.62

5.2.2 ผลการวิเคราะห์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพปัจจัยด้านเศรษฐกิจ

ค่าผลลัพธ์ตัวชี้วัด ประสิทธิภาพปัจจัยด้านเศรษฐกิจจากการประมวลผลในแบบจำลอง พบว่า รูปแบบทางเลือกที่ 3-4 เป็นทางเลือกที่มีค่าผลลัพธ์ตัวชี้วัดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีที่สุดใกล้เคียงกัน แต่หากพิจารณา

จากค่า VHT รูปแบบทางเลือกที่ 2 มีค่าต่ำที่สุด โดยทุก รูปแบบทางเลือกมีค่าผลลัพธ์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพปัจจัยด้านเศรษฐกิจที่ดีกว่าสภาพปัจจุบัน ประมาณร้อยละ 8.5-12.6 สำหรับการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และร้อยละ 10.3-15.3 สำหรับค่า VHT ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าผลลัพธ์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพปัจจัยด้านเศรษฐกิจจากการประมวลผลในแบบจำลอง

รูปแบบทางแยก	Fuel consumption [US liquid gallon]	VHT = All Vehicle × All Travel time [veh-sec]
สภาพปัจจุบัน	120.66	50972.35
รูปแบบทางเลือกที่ 1	110.44	45745.59
รูปแบบทางเลือกที่ 2	110.04	45327.49
รูปแบบทางเลือกที่ 3	105.72	46053.12
รูปแบบทางเลือกที่ 4	105.41	45925.49

5.2.3 ผลการวิเคราะห์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพปัจจัยด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ค่าผลลัพธ์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพปัจจัยด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการประมวลผลในแบบจำลอง พบว่า รูปแบบทางเลือกที่ 4 เป็นทางเลือกที่มีค่าผลลัพธ์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพดีที่สุดในทุกตัวชี้วัดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบทางเลือกอื่น โดยมีค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

(CO₂) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) ต่ำสุด ทั้งนี้ทุกรูปแบบทางเลือกมีค่าผลลัพธ์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพปัจจัยด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ดีกว่าสภาพปัจจุบัน ประมาณร้อยละ 8.4-12.5 สำหรับการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) และร้อยละ 5.4-9.3 สำหรับการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าผลลัพธ์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพปัจจัยด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการประมวลผลในแบบจำลอง

รูปแบบทางแยก	Emissions CO [grams]	Emissions CO ₂ [grams/sec]	Emissions NO _x [grams]	Emissions VOC [grams]
สภาพปัจจุบัน	8433.97	3133.66	1640.94	1954.65
รูปแบบทางเลือกที่ 1	7719.43	2964.89	1501.92	1789.05
รูปแบบทางเลือกที่ 2	7691.53	2933.36	1496.49	1782.59

ตารางที่ 7 ค่าผลสัมฤทธิ์สิ่งแวดล้อมปัจจัยด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการประมวลผลในแบบจำลอง(ต่อ)

รูปแบบทางแยก	EmissionsCO [grams]	Emissions CO2 [grams/sec]	Emissions NOx [grams]	Emissions VOC [grams]
รูปแบบทางเลือกที่ 3	7389.54	2860.14	1437.74	1712.60
รูปแบบทางเลือกที่ 4	7368.35	2841.61	1433.61	1707.69

5.3 ผลการให้ค่าตัวคูณและค่าคะแนน และการจัดลำดับ

ความสำคัญตามวิธีวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

สำหรับการระบุค่าตัวคูณใช้วิธีสัดส่วนของสมการเชิงเส้น (Linear Equation) ซึ่งจะพิจารณาเปรียบเทียบจากค่าผลสัมฤทธิ์สิ่งแวดล้อมของรูปแบบทางแยกที่ดีที่สุด (ค่าต่ำที่สุด) ให้มีค่าตัวคูณเท่ากับ 1.00 ส่วนรูปแบบทางเลือกอื่นๆ จะมีค่าตัวคูณตามสัดส่วน

ผลจากการพิจารณาค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ จะถูกนำมาคูณกับค่าตัวคูณแต่ละปัจจัยซึ่ง

ได้จากวิธีการวิเคราะห์ข้างต้น และสรุปเป็นค่าคะแนนของแต่ละทางเลือก พบว่า รูปแบบทางเลือกที่มีค่าคะแนนสูงสุด คือ รูปแบบที่ 2 สะพานข้ามทางแยกตามแนว ทล.12 มีคะแนนเท่ากับ 0.9736 (97.36%) รองลงมาคือ รูปแบบที่ 4 สะพานข้ามทางแยกตามแนว ทางหลวงชนบท มห.4040 รูปแบบที่ 3 ทางลอดตามแนว ทางหลวงชนบท มห.4040 และรูปแบบที่ 1 ทางลอดตามแนว ทล.12 โดยมีคะแนนเท่ากับ 0.9670, 0.9012 และ 0.9003 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการให้คะแนนและจัดลำดับความสำคัญรูปแบบทางแยกที่เหมาะสม

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยรอง	ค่าคะแนนรูปแบบทางเลือก			
		1	2	3	4
วิศวกรรมจราจร	ระยะเวลาในการเดินทางผ่านทางแยก	0.1682	0.1696	0.1641	0.1646
	ความล่าช้าบริเวณทางแยก	0.2194	0.2278	0.1982	0.2006
	ความยาวแถวคอย บริเวณทางแยก	0.1185	0.1209	0.1325	0.1352
เศรษฐศาสตร์	การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง	0.0482	0.0483	0.0503	0.0505
	เวลาและปริมาณการเดินทางบนช่วงทาง (VHT)	0.0594	0.0599	0.0590	0.0591
	งบประมาณในการก่อสร้าง	0.0497	0.1087	0.0497	0.1087
ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)	0.0768	0.0771	0.0803	0.0805
	การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	0.0450	0.0455	0.0467	0.0470
	การปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx)	0.0646	0.0648	0.0675	0.0676
	การปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC)	0.0506	0.0508	0.0529	0.0530
รวม		0.9003	0.9736	0.9012	0.9670

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

การเติบโตทางเศรษฐกิจส่งผลให้ความต้องการในการเดินทางและปริมาณการใช้รถใช้ถนนในเขตเมืองเพิ่มสูงขึ้น โครงการก่อสร้างโครงข่ายถนนเพื่อรองรับการขยายตัวของชุมชนและการเติบโตของตัวเมืองจึงมีจำนวนมากขึ้นอย่าง

ต่อเนื่องเช่นกัน จึงอาจมีความจำเป็นที่จะต้องทำการพิจารณาหรือกำหนดรูปแบบในการปรับปรุงทางแยกให้มีความเหมาะสมเพื่อรองรับปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตไปพร้อมกัน

การวิเคราะห์และคัดเลือกรูปแบบทางแยกในปัจจุบัน จะทำการตัดสินใจโดยพิจารณาจากรูปแบบทางเลือกที่มีค่า

คะแนนสูงสุดด้วยวิธีการ MCDA (เช่น Multi Criteria Analysis, MCA และ AHP เป็นต้น) ซึ่งใช้ปัจจัยต่างๆ ร่วมในการให้คะแนน อย่างไรก็ตามปัจจัยบางปัจจัยอาจถูกกำหนดให้เป็นรูปแบบเชิงคุณภาพ ยุ่งยากในการสำรวจและรวบรวมข้อมูล หรือมีความซับซ้อนในประเมินหรือการคำนวณค่าได้

การศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์คัดเลือกรูปแบบทางแยกที่เหมาะสมมากที่สุด บริเวณจุดตัดโครงการก่อสร้างทางหลวงชนบท มห.4040 ตัดกับทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 อำเภอเมือง จังหวัดมุกดาหาร ด้วยตัวชี้วัดประสิทธิภาพจากแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคร่วมกับ AHP ซึ่งจะสามารถลดทอนความยุ่งยากและซับซ้อนในการวิเคราะห์และการรวบรวมข้อมูล ตลอดจนสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจต่อไป

ผลจากการศึกษา พบว่า ผู้เชี่ยวชาญให้ค่าน้ำหนักด้านวิศวกรรมจราจรสูงที่สุด (0.5327 หรือ 53.27%) ซึ่งสอดคล้องและใกล้เคียงกับหลายการศึกษาที่ทำการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบทางแยกที่เหมาะสม [25–27] รองลงมาคือด้านสิ่งแวดล้อม (0.2482 หรือ 24.82%) และด้านเศรษฐศาสตร์ (0.2191 หรือ 21.91%) ตามลำดับ สำหรับปัจจัยรองในด้านวิศวกรรมจราจรซึ่งเป็นปัจจัยที่มีค่าน้ำหนักความสำคัญสูงสุด คือ ความล่าช้าบริเวณทางแยก ซึ่งมีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.2278 หรือ 22.78% ทั้งนี้เนื่องจากผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่าความล่าช้าบริเวณทางแยกเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพสำคัญที่แสดงถึงความคล่องตัวในการสัญจรผ่านทางแยกที่ควรคำนึงถึงเป็นลำดับแรกในการคัดเลือกรูปแบบทางแยก

เมื่อพิจารณาผลการให้คะแนนและจัดลำดับความสำคัญรูปแบบทางแยกที่เหมาะสม สรุปได้ว่า รูปแบบทางเลือกที่ 2 สะพานข้ามทางแยกตามแนว ทล.12 เป็นรูปแบบที่มีความเหมาะสมสูงสุดสำหรับเป็นรูปแบบเสนอแนะในลำดับแรก ซึ่งได้ค่าคะแนน เท่ากับ 0.9736 หรือ 97.36%

โดยรูปแบบทางเลือกที่ 2 มีความโดดเด่นอย่างมากในปัจจัยด้านวิศวกรรมจราจร (เวลาในการเดินทาง และความล่าช้า) โดยมีค่าตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่ดีที่สุดใกล้เคียงกับ

รูปแบบทางเลือกที่ 1 ซึ่งสะท้อนถึงความคล่องตัวและประสิทธิภาพในการให้บริการการจราจร รวมทั้งมีราคาก่อสร้างที่ต่ำกว่ารูปแบบทางเลือกที่ 1 และรูปแบบทางเลือกที่ 3 อย่างไรก็ตามรูปแบบทางเลือกที่ 2 มีข้อด้อยด้านการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และปัจจัยรองด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นรองรูปแบบทางเลือกที่ 3 และรูปแบบทางเลือกที่ 4 เล็กน้อย

เนื่องจากงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะเกณฑ์การตัดสินใจที่สามารถประมวลผลได้จากจากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองระดับจุลภาคเท่านั้น ในการวิจัยในอนาคตอาจมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยรองให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น รวมทั้งมีการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธีการอื่นๆ และอาจใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้ใช้รถใช้ถนนในพื้นที่ เพื่อให้การออกแบบสอดคล้องกับความต้องการและวิสัยทัศน์ของพื้นที่ไปพร้อมกันด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] *Transport data and statistics– Office of Mukdahan land transport*, Jun 20, 2022. [Online]. Available: <https://www.dlt.go.th/site/mukdahan/m-news/11533/view.php?did=34250> (accessed Jun. 20, 2022).
- [2] *Average annual daily traffic (AADT) – Open Government Data of Thailand*, Jun 20, 2022. [Online]. Available: <https://data.go.th/dataset/aadt64>
- [3] Department of Rural Road (DRR). “Report on survey results and analyze data for forecasting traffic volumes, Survey Detailed Design and Environmental Impact Assessment (IEE) for the road construction of the principle city plan, Route NG.2 and NG.3 Road, Mukdahan principle city plan”, DRR. , Bangkok, Thailand. 2009,
- [4] T. L. Saaty, “The analytic hierarchy process,” in *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. New York, NY, USA: McGraw-Hill International Book Co., 1980, ch. 1, sec. 1, pp. 3–34.

- [5] T. L. Saaty, "Decision making with the analytic hierarchy process," *International Journal of Services Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 83–98, 2008, doi: 10.1504/IJSSCI.2008.017590.
- [6] K. Wunderlich, M. Vasudevan and P. Wang, "TAT Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software 2019 Update to the 2004 Version," U. S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Washington, DC, USA, Rep. FHWA-HOP-18-036, 2019.
- [7] W. Burghout, H. Koutsopoulos, and I. Andréasson, "Hybrid Mesoscopic- Microscopic Traffic Simulation," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1934, no. 1, pp. 218–255, 2005, doi: 10.3141/1934-23.
- [8] The Institution of Highways & Transportation, "Traffic microsimulation modeling," *Network Management Notes*, pp. 1–4, 2006. [Online]. Available: https://www.ciht.org.uk/media/4365/traffic_microsimulation_modelling.pdf
- [9] T. Kojima, A. Fukuda, T. Ishizaka and P. Luatthep, "Study on the Evaluation of the Roundabout Utilizing Micro Traffic Simulation Model" in *7th ATRANS Symposium: Young Researcher's Forum*, Bangkok, Thailand, Aug. 22, 2014, pp. 242–247.
- [10] P. Warasak, S. Thanet, S. Wichuda and D. Atthaphon, "Analysis of traffic management for motorcycles at traffic signal junctions," in *proceeding the 18th National Civil Engineering Conference*, Chiang Mai, Thailand, May 8–10, 2013, pp. TRP 236–TRP 242.
- [11] Y. Chaiwat and L. Paramet, "An Analysis of Traffic Management of Multiple Consecutive Intersections: A Case Study of Hat Yai Municipality," *Journal of Engineering and Innovation*, vol. 8, no. 1, pp. 103–114, 2015.
- [12] R. Chayada and K. Noppadol, "Energy and Environmental Assessment for Intersection Design Control in University Campus," in *proceeding the 25th National Civil Engineering Conference*, Chonburi, Thailand, Jul. 15–17, 2020, pp. ENV051–ENV059.
- [13] K. Wanwisa and P. Jumrus, "Traffic Operational Analysis of Continuous Flow Urban Interchange Using Micro Simulation Modeling Technique : A CaseStudy of Dat Daruni School, Chachoengsao," *Ladkrabang Engineering Journal*, vol. 35, no. 1, pp. 23–32, 2018.
- [14] W. Muanmas, H. Phongtorn and S. Sittiwat, "Recommendation for improvement of traffic circulation during Kaset fair," *Ladkrabang Engineering Journal*, vol. 33, no. 1, pp. 72–77, 2016.
- [15] Department of Rural Road (DRR). Survey project designed to solve traffic problems at the intersection on CR.5023, Rob Wiang Subdistrict, Mueang District, Chiang Rai Province.", DRR. BKK, Thailand. 2019,
- [16] P. Thanapol, S. Thaned and S. Wichuda, "Vehicle actuated signal control for low carbon society," *International Journal of GEOMATE*, vol. 16, no. 55, pp. 56–91, 2019, doi: 10.21660/2019.55.4766.
- [17] J. A. Gómez Romero, R. Soto Flores and S. Garduño Román, "Determination of the Weightings of Hydroelectric Sustainability Criteria by Combining AHP and GP Extended Methods," *Ingeniería*, vol. 24, no. 2, pp. 116–142, 2019, doi: 10.14483/23448393.14469.
- [18] J. Greenbaum, "A design of one's own: Towards participatory design in the United States" . in *Participatory Design*, D. Schuler and A. Namioka Eds., Hillsdale, NJ, USA: Lawrence Erlbaum, 1993, ch. 3, pp. 27–37.

- [19] M. G. Melón, P. A. Beltran and M. C. G. Cruz, “An AHP- based evaluation procedure for Innovative Educational Projects: A face-to-face vs. computer-mediated case study,” *Omega*, vol. 36, no. 5, pp. 754–765, 2008, doi: 10.1016/j.omega.2006.01.005.
- [20] Ewing R, “Traffic Calming: State of the practice,” Institute of Transportation Engineering, Washington D. C., USA, 1999.
- [21] *Protocol for Vissim Simulation*, Washington State Department of Transportation, Olympia, WA, USA, 2014, pp. 13–21.
- [22] *VISSIM 6 User manual*, PTV AG. , Karlsruhe, Germany, 2014.
- [23] W. Tony, “Calibrating Freeway Simulation Models In Vissim,” M. S. Thesis, Dept. Civil Engineering, Washington Univ., Seattle, WA, USA, 2006.
- [24] B. (Brian) Park and J. D. Schneeberger, “Microscopic Simulation Model Calibration and Validation: Case Study of VISSIM Simulation Model for a Coordinated Actuated Signal System,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1856, no. 1, pp. 185–192, 2003, doi: 10.3141/1856-20.
- [25] S. Somkane, “Factor Priority Analysis used in considering the improvement of the Department of Highways for the improvement of the junction by hierarchical analysis process,” M.E. Thesis, Dept. Engineering and Construction Management, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand, 2005.
- [26] S. Nantawan, V. Chavalek and K. Aswin, “Evaluation of appropriate configurations for urban- grade separation intersections, a case study : Khae Rai intersection-highway 302 (Rattanathibet Road) and highway 306 (Tivanon Road) ,” *Kasetsart Engineering Journal*, vol. 22, no. 70, pp. 57–69, 2010.
- [27] M. Worawit and T. Kittichai, “A Study of Appropriate Configurations for Rural Service Interchange A Case Study of Highway No. 35 (Rama II Road) and Rural Road 2055 Interchange,” *Technical Education Journal King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 12, no. 3, pp. 34–46, 2021.