

การศึกษาเพื่อประเมินประสิทธิภาพของการติดตั้งป้ายและอุปกรณ์ เพื่อเตือนความเร็วการจราจร ด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น

A Study to Evaluate the Effectiveness of Signage and Equipment Installation for Traffic Speed Warning using the Analytical Hierarchy Process (AHP)

ณัฐพงษ์ คำโพธิ์จันทร์^{1,*}, วัชร สัตยาประเสริฐ²

^{1,2} สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐานและการบริหารงานก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพมหานคร
Corresponding author; E-mail address: natthapongkhampochan@gmail.com

บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีอัตราการเกิดอุบัติเหตุทางถนนสูง โดยเฉพาะการขับด้วยความเร็วเกินกำหนด ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของอุบัติเหตุบนทางหลวง คิดเป็น 76.78% ของอุบัติเหตุทั้งหมดในปี พ.ศ. 2565 ปัจจัยเสี่ยงสำคัญยังรวมถึงการไม่ปฏิบัติตามกฎจราจร การเมาแล้วขับ และการขาดโครงสร้างพื้นฐานที่เหมาะสม เพื่อแก้ไขปัญหา การติดตั้งป้ายเตือนความเร็ว (Over Speed Warning) ได้รับการพัฒนาให้มีบทบาทสำคัญในการลดความเร็วของผู้ขับขี่ โดยเฉพาะในพื้นที่เสี่ยง เช่น ทางโค้งและทางลาดชัน ป้ายเตือนเหล่านี้ถูกออกแบบให้มองเห็นได้ชัดเจนและมีเทคโนโลยีตรวจจับความเร็วอัตโนมัติ ซึ่งช่วยเพิ่มความปลอดภัยบนถนนและลดจำนวนอุบัติเหตุอย่างมีนัยสำคัญ

อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของป้ายเตือนความเร็วขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น พฤติกรรมผู้ขับขี่ ความชัดเจนของป้าย และสภาพแวดล้อม การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและการติดตั้งป้ายจึงมีความสำคัญในการพัฒนาแนวทางป้องกันอุบัติเหตุที่เหมาะสม โดยข้อมูลจากการวิจัยจะสนับสนุนการตัดสินใจเลือกใช้ป้ายเตือนความเร็วที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในแต่ละพื้นที่ พร้อมทั้งเพิ่มความปลอดภัยบนถนนของประเทศไทยอย่างยั่งยืน

จากการประเมินทางเลือกในการติดตั้งป้ายเตือนความเร็ว พบว่า ป้าย "Your Speed" ได้รับคะแนนรวมสูงสุด (0.296) และแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมในทุกมิติ ไม่ว่าจะเป็นด้านการรับรู้ของผู้ขับขี่ ความชัดเจนของข้อมูลที่สื่อสาร และศักยภาพในการลดอุบัติเหตุ จึงถือเป็นทางเลือกที่โดดเด่นที่สุดในภาพรวมขณะที่ ป้าย "Over Speed Warning" (คะแนน 0.261) มีความสามารถในการสร้างการรับรู้เกี่ยวกับความเร็วได้ดี แม้ว่าจะมีข้อจำกัดในเชิงสิ่งแวดล้อมบางประการ ป้าย "Speed Limit" (คะแนน 0.238) มีจุดแข็งด้านความคุ้นเคยและการเข้าใจง่ายของผู้ขับขี่ รวมถึงความคุ้มค่าด้านต้นทุน ส่วน ป้าย "แจ้งเตือนความเร็ว" (คะแนน 0.205) แม้จะมีต้นทุนต่ำและบำรุงรักษาง่าย แต่พบว่าข้อจำกัดในการกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผู้ขับขี่ ทำให้ได้รับการประเมินอยู่ในลำดับท้ายสุด

คำสำคัญ: อุบัติเหตุทางถนน, ความปลอดภัยทางถนน, การเตือนความเร็วทางการจราจร, Analytic Hierarchy Process

Abstract

Thailand has one of the highest road accident rates globally, with speeding as the primary cause, accounting for 76.78% of all highway accidents in 2022. Other contributing factors include non-compliance with traffic regulations, drunk driving, and inadequate infrastructure. To address this issue, Over Speed Warning (OSW) systems have been developed and play a crucial role in encouraging drivers to reduce speed, particularly in high-risk areas such as curves and slopes. These systems are designed to be highly visible and equipped with automated speed detection technology, significantly enhancing road safety and reducing the frequency of accidents.

However, the effectiveness of OSW systems depends on several factors, including driver behavior, sign clarity, and environmental conditions. Research on the design and installation of OSW systems is essential for developing appropriate accident prevention strategies. Insights from such research can support decision-making in selecting the most effective warning systems for different locations, ultimately contributing to sustainable improvements in road safety across Thailand.

Based on the evaluation of alternatives for installing speed warning signs, the "Your Speed" sign received the highest overall score (0.296) and demonstrated suitability across all key dimensions, including driver perception, clarity of conveyed information, and the potential to reduce accidents. Thus, it is considered the most outstanding option overall. Meanwhile, the "Over Speed Warning" sign (score 0.261) showed strong capability in raising drivers' awareness of their speed, although it has some environmental limitations. The "Speed Limit" sign (score 0.238) exhibited strengths in terms of driver familiarity, ease of understanding, and reasonable cost-effectiveness. In contrast, the "Speed Warning" sign (score 0.205), while offering low installation and maintenance costs, was found to be less

effective in influencing driver behavior change, resulting in its ranking as the least preferred option.

Keywords: Road Accident, Road Safety, Traffic Speed Warning, Analytic Hierarchy Process

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ประเทศไทยมีสถิติอุบัติเหตุทางถนนสูงเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก โดยในปี พ.ศ. 2563 จำนวนผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนอยู่ที่ 32.7 คนต่อ 100,000 ประชากร ซึ่งเป็นอัตราที่สูงเมื่อเทียบกับประเทศอื่น ๆ องค์การอนามัยโลก (WHO) ยังประมาณการเพิ่มเติมว่าอุบัติเหตุทางถนนในประเทศไทยทำให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจมูลค่ากว่า 500,000 ล้านบาทต่อปี ซึ่งมีผลกระทบต่อทั้งภาคเศรษฐกิจและสังคมอย่างรุนแรง

ปัจจัยหลักที่ส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุทางถนนในประเทศไทย ได้แก่ การขับขี่ด้วยความเร็วสูง การเมาแล้วขับ การไม่สวมหมวกนิรภัย และการไม่ปฏิบัติตามกฎจราจร นอกจากนี้ การออกแบบและจัดการโครงสร้างพื้นฐานที่ไม่สอดคล้องกับสภาพถนนและปริมาณยานพาหนะในปัจจุบันก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายเพิ่มขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับระบบการคมนาคมและขนส่งได้ดำเนินการในหลายมิติ เช่น การปรับปรุงกฎจราจร การสร้างความตระหนักรู้ให้กับผู้ขับขี่ และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่ปลอดภัยยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาการเตือนความเร็ว และระบบป้ายจราจรอื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพในการเตือนผู้ขับขี่ให้ลดความเร็วและระมัดระวังมากขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้น การลดปัญหาอุบัติเหตุทางถนนจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญและเร่งด่วน การวิจัยเกี่ยวกับการใช้ป้ายเตือนความเร็วที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อสนับสนุนการพัฒนาจราจรและลดอัตราการเกิดอุบัติเหตุบนถนน

จากสถิติสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวงประเทศไทย ข้อมูลจากระบบจัดการข้อมูลอุบัติเหตุทางหลวง (HAIMS) โดยสำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง แสดงให้เห็นว่าในปีพ.ศ. 2565 การเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวงส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการใช้ความเร็วที่เกินกว่าที่กฎหมายกำหนด โดยมีจำนวนสูงถึง 76.78% ของอุบัติเหตุทั้งหมด ซึ่งชี้ให้เห็นว่า "การขับเร็วกว่าที่กฎหมายกำหนด" เป็นปัจจัยสำคัญและสาเหตุหลักของการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวง การขับขี่ด้วยความเร็วสูงนั้นนอกจากจะทำให้ผู้ขับขี่มีเวลาตอบสนองต่อเหตุการณ์ไม่ทันแล้ว ยังทำให้เกิดการควบคุมรถได้ยากขึ้นในกรณีที่ต้องหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางกะทันหัน ส่งผลให้ความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุรุนแรงเพิ่มขึ้นมาก โดยเฉพาะในพื้นที่ถนนที่มีภูมิการใช้ความเร็วสูงเป็นปกติ นอกจากนี้ การไม่ปฏิบัติตามป้ายเตือนความเร็วหรือการไม่สังเกตเห็นป้ายเตือนดังกล่าวในพื้นที่อันตราย ยังทำให้เกิดอุบัติเหตุบ่อยครั้งมากขึ้น

ดังนั้น เพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ การออกแบบและติดตั้งป้ายเตือนความเร็วที่สามารถเตือนผู้ขับขี่ให้ลดความเร็วลงในพื้นที่เสี่ยงจึงเป็นมาตรการสำคัญในการป้องกันอุบัติเหตุ โดยการวิจัยเกี่ยวกับการประเมินประสิทธิภาพของการติดตั้งป้ายและอุปกรณ์เพื่อเตือนความเร็วจราจร ทั้งนี้ ข้อมูลและสถิติเหล่านี้สนับสนุนความสำคัญของการศึกษาเพื่อค้นหาวิธีการปรับปรุงและพัฒนาป้ายเตือนความเร็วให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ในกระบวนการประเมินดังกล่าว การใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) จึงมีความจำเป็น เนื่องจากสามารถจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของป้ายเตือนความเร็วได้อย่างเป็นระบบ ช่วยให้การตัดสินใจเลือกแนวทางหรือรูปแบบป้ายที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละบริบทมีความโปร่งใส เชิงตรรกะ และ

สอดคล้องกับเป้าหมายการลดอุบัติเหตุอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้ง AHP ยังรองรับการพิจารณาปัจจัยที่มีลักษณะเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณร่วมกัน ซึ่งเหมาะสมกับลักษณะข้อมูลในงานวิจัยด้านการจราจรที่มีความซับซ้อนและหลายมิติ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการลงทุนในการป้องกันอุบัติเหตุทางถนนในด้านความเร็ว

1.2.2 ศึกษาและวิเคราะห์แนวทางการจัดการป้องกันอุบัติเหตุด้านการควบคุมความเร็วของยานพาหนะ

1.2.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนและผลประโยชน์ของการแก้ไขปัญหามาตรการการลดอุบัติเหตุด้านการควบคุมความเร็วของยานพาหนะ

1.2.4 จัดทำโครงสร้างความสัมพันธ์เชิงลำดับชั้นของเกณฑ์และทางเลือกสำหรับการติดตั้งป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็วจราจร โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP)

1.2.5 วิเคราะห์ลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการติดตั้งป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็วจราจร และสรุปผลการวิเคราะห์เพื่อเสนอทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการความเร็วบนท้องถนน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเฉพาะพื้นที่ถนนที่มีการติดตั้งป้ายและอุปกรณ์เพื่อเตือนความเร็วจราจร โดยเน้นไปที่ป้ายและอุปกรณ์ 4 ประเภท ได้แก่ ป้ายตรวจจับความเร็ว (ป้ายข้างทาง) ป้ายเตือนความเร็วเกินกำหนด (Over Speed Warning Sign) ป้ายแสดงความเร็วของผู้ขับขี่ (Your Speed Sign) ป้ายจำกัดความเร็ว (Speed Limit Sign)

โดยเลือกพื้นที่ศึกษา จำนวน 4 พื้นที่ ซึ่งมีลักษณะแวดล้อมการจราจรและรูปแบบการใช้งานถนนที่แตกต่างกัน เพื่อประเมินเปรียบเทียบประสิทธิภาพของป้ายและอุปกรณ์แต่ละประเภท ในการควบคุมและลดความเร็วของยานพาหนะบนถนน

1.3.2 งานวิจัยนี้จะใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP) เพื่อประเมินและจัดลำดับความเหมาะสมของป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็ว โดยอาศัยข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมจราจร หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้ดำเนินการจัดการด้านจราจร

1.3.3 ปัจจัยที่ใช้ในการประเมินเพื่อนำมาเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP) ซึ่งจะประกอบไปด้วย 3 ปัจจัยหลัก 8 ปัจจัยรอง ได้แก่

- ปัจจัยด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัย
 - การออกแบบป้ายให้เข้าใจง่ายและดึงดูดความสนใจ
 - ความสามารถในการเตือนให้ผู้ขับขี่ลดความเร็ว
- ปัจจัยด้านวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม
 - ความยากง่ายในการบำรุงรักษา
 - ผลกระทบของป้ายต่อสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษจากแสงหรือเสียง
- การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์และการใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
- ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์
 - ต้นทุนในการติดตั้ง
 - การลดอุบัติเหตุ
 - การใช้พลังงาน เช่น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มความยั่งยืนและลดต้นทุนในระยะยาว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการติดตั้งป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็วในการจราจร
- 1.4.2 สามารถแสดงให้เห็นถึงข้อเด่นและข้อด้อยของป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็วแต่ละประเภท ในเชิงประสิทธิภาพการควบคุมความเร็วและความปลอดภัยบนท้องถนน
- 1.4.3 สามารถนำผลการวิจัยไปใช้เป็นแนวทางในการเลือกติดตั้งป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็วในพื้นที่อื่นๆ ได้อย่างเหมาะสมในอนาคต
- 1.4.4 ทำให้ทราบว่าป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็วประเภทใดที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการบริหารจัดการความเร็วของยานพาหนะและส่งเสริมความปลอดภัยในการเดินทางมากที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process (AHP))

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process, AHP) [7] เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงในการวิเคราะห์และตัดสินใจในประเด็นปัญหาที่มีความซับซ้อน ซึ่งคิดค้นโดยศาสตราจารย์ Thomas Saaty แห่งมหาวิทยาลัยเพนซิลเวเนีย เมื่อปลายทศวรรษที่ 1970 กระบวนการนี้ใช้การแยกย่อยประเด็นปัญหาทั้งหมดที่เป็นรูปธรรมและนามธรรมออกเป็นองค์ประกอบย่อย ๆ จัดทำเป็นโครงสร้างลำดับชั้น (Hierarchy Structure) เพื่อให้สะดวกในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์แต่ละองค์ประกอบ ก่อนนำข้อมูลจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ตัดสินใจมาประเมินความสำคัญทีละคู่ (Pair-wise comparison) เพื่อหาลำดับความสำคัญและเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด

กระบวนการ AHP ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในหลากหลายสาขาการตัดสินใจ เช่น การบริหารจัดการทางธุรกิจ ได้แก่ การคัดเลือกสถานที่ประกอบการ การจัดซื้อวัตถุดิบ การวางกลยุทธ์การตลาด รวมถึงด้านการบริหารทรัพยากรมนุษย์ เช่น การประเมินความสามารถของพนักงาน การประเมินทางเลือกสายอาชีพ และการสำรวจทัศนคติของพนักงาน เป็นต้น กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) มีสมมติฐานหลัก 4 ประการได้แก่

- การเปรียบเทียบแบบตรงและย้อนกลับ (Reciprocal Comparison)

การเปรียบเทียบทางเลือกแต่ละคู่สามารถกระทำได้ทั้งแบบตรงและย้อนกลับ หากทางเลือก A มีความพึงใจมากกว่าทางเลือก B เท่ากับ x เท่า จะสรุปได้ว่าทางเลือก B มีความพึงใจน้อยกว่าทางเลือก A เท่ากับ $1/x$ เท่า

- ความสอดคล้อง (Homogeneity)

ค่าความสำคัญที่ได้จากการประเมินแต่ละองค์ประกอบควรมีความชัดเจน มีความสอดคล้องกันภายในขอบเขตของลำดับชั้นเดียวกัน และเป็นค่าเชิงตัวเลขที่สามารถเปรียบเทียบกันได้

- ความเป็นอิสระ (Independence)

องค์ประกอบหรือปัจจัยแต่ละลำดับชั้นถูกพิจารณาว่ามีความเป็นอิสระจากกัน โดยไม่มีผลกระทบหรือความสัมพันธ์โดยตรงต่อการวิเคราะห์

- ความคาดหวัง (Expectations)

โครงสร้างลำดับชั้นที่ถูกออกแบบไว้สำหรับการวิเคราะห์นั้นถือว่ามีคุณสมบัติครบถ้วนและปัจจัยสำคัญทั้งหมดที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์และตัดสินใจ

กระบวนการวิเคราะห์ด้วยวิธี AHP แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักประกอบด้วย

- 1.การแยกแยะ (Decomposition) แยกปัญหาที่ซับซ้อนออกเป็นโครงสร้างลำดับชั้น ซึ่งประกอบด้วยเป้าหมาย ปัจจัยหลัก ปัจจัยรอง และทางเลือกต่างๆ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์
- 2.การจัดลำดับความสำคัญ (Prioritization) ประเมินความสำคัญขององค์ประกอบแต่ละส่วนโดยใช้การเปรียบเทียบทีละคู่ (Pair-wise comparison) เพื่อคำนวณระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ และจัดลำดับเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจ
- 3.การตรวจสอบความสอดคล้อง (Consistency Check) ตรวจสอบความถูกต้องและความสอดคล้องของผลการเปรียบเทียบเพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีความขัดแย้งในความคิดเห็นหรือการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ
- 4.การสรุปผลและเลือกทางเลือกที่เหมาะสม (Synthesis) คำนวณผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบขององค์ประกอบทั้งหมด และนำผลที่ได้ไปใช้ในการตัดสินใจหรือเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้มีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการควบคุมความเร็วของยานพาหนะจากการติดตั้งป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็วประเภทต่างๆ เช่น การศึกษาอิทธิพลของป้ายแจ้งเตือนความเร็วที่มีต่อรถยนต์บนทางหลวงสองช่องจราจรในประเทศไทย[1] โดยเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วเฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็ว (Speed Indicator Devices หรือ SID) พบว่าความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะลดลงในช่วง 4.20–4.44 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยความเร็วของยานพาหนะมีการลดลงชัดเจนในช่วงเวลา 09.00–16.00 น.

การศึกษากการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้ความเร็วของผู้ขับขี่ในบริเวณที่มีการติดตั้งป้ายบอกความเร็ว (Your Speed Sign) บนทางหลวงหมายเลข 32 [2] พบว่าป้ายบอกความเร็วไม่สามารถเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้ขับขี่ได้อย่างถาวร โดยผู้ขับขี่ทางจะลดความเร็วเพียงชั่วคราวเมื่อผ่านป้าย และกลับไปขับขี่ด้วยความเร็วเดิมหลังจากผ่านตำแหน่งป้ายไปแล้ว

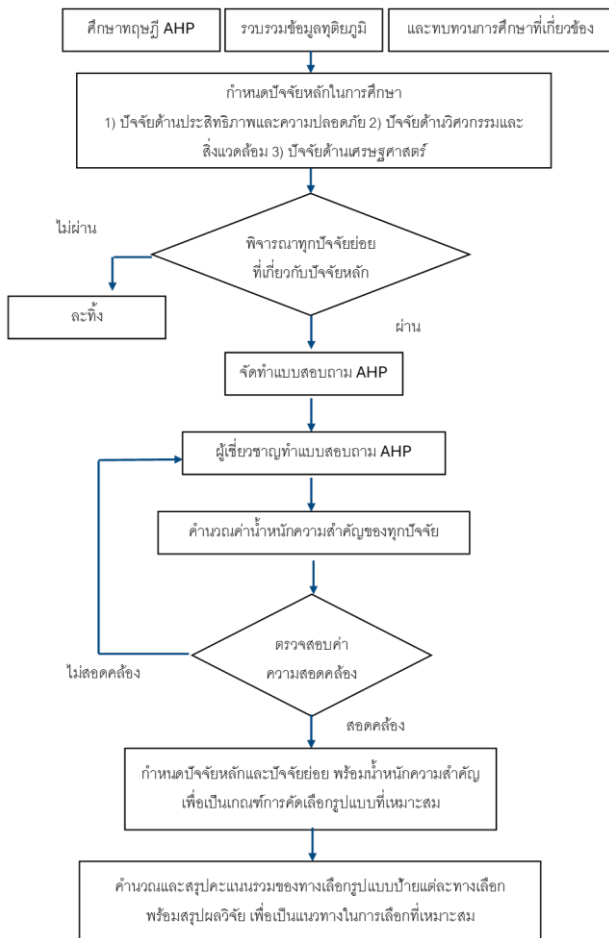
นอกจากนี้ ได้มีการศึกษาประสิทธิภาพของป้ายแจ้งเตือนความเร็วแบบพลังงานแสงอาทิตย์บนทางพิเศษบูรพาวิถี [3] เพื่อประเมินความแตกต่างของความเร็วก่อนและหลังการติดตั้งป้าย โดยพบว่าการใช้ความเร็วของยานพาหนะมีแนวโน้มลดลงเฉลี่ยร้อยละ 1.28 เมื่อพิจารณาความเร็วที่เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 85 แต่ยังคงมีการใช้ความเร็วเกินกว่าที่กฎหมายกำหนด

ส่วนการประเมินประสิทธิภาพของป้ายแสดงความเร็วของยานพาหนะที่ติดตั้งภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น [4] พบว่ายานพาหนะประเภทรถยนต์ส่วนบุคคลมีความเร็วลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ร้อยละ 8.5 ในช่วงเวลากลางวัน และลดลงร้อยละ 12.2 ในช่วงเวลากลางคืน

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP) เช่น การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคัดเลือกสายทางในจังหวัดอุดรธานี [5] เพื่อสนับสนุนการขนส่งสินค้าโดยรถไฟทางคู่ โดยใช้กระบวนการ AHP ซึ่งพบว่าปัจจัยด้านวิศวกรรมศาสตร์มีความสำคัญสูงสุด และงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้กระบวนการตัดสินใจแบบหลายปัจจัยอย่างผสมผสาน (Hybrid Multiple Attributes Decision Making, HMADM) [6] เพื่อคัดเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมในการก่อสร้างท่าเรือบกในจังหวัดขอนแก่น

3. กรอบแนวคิดในงานวิจัย

การศึกษานี้ดำเนินการโดยกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย จากนั้นทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อระบุปัจจัยสำคัญในการประเมิน ออกแบบกรอบการวิจัย และดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากภาคสนามและผู้เชี่ยวชาญ ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการตัดสินใจภายใต้หลายปัจจัย (MCDA) เพื่อประเมินประสิทธิภาพและจัดลำดับความเหมาะสมของป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็ว และนำเสนอผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย ดังแสดงในรูปที่ 1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย



รูปที่ 1 ภาพกรอบการศึกษางานวิจัย (Conceptual Framework)

การพิจารณาเปรียบเทียบทางเลือกของป้ายและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตือนความเร็วของผู้ขับขี่ยานพาหนะบนถนน โดยแบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่ (1) ป้ายตรวจจับความเร็ว ซึ่งเป็นป้ายข้างทางแบบ Static ร่วมกับไฟ LED ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ มองเห็นได้ในระยะประมาณ 60 เมตร, (2) ป้าย Over Speed Warning ติดตั้งในรูปแบบ Overhead Sign ใช้ระบบ LED แสดงผลความเร็วแบบเรียลไทม์ ใช้พลังงานไฟฟ้า มองเห็นได้ในระยะ 120–400 เมตร, (3) ป้าย Your Speed ซึ่งเป็นป้าย Overhead แบบ Static ร่วมกับ LED แสดงความเร็วของผู้ขับขี่แบบทันที ใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานเช่นกัน และ (4) ป้าย Speed Limit แบบ Overhead ที่แสดงค่าความเร็วจำกัดโดยใช้ระบบไฟ LED มีระยะการมองเห็นใกล้เคียงกันที่ 120–400 เมตร ทั้งนี้ อุปกรณ์ทั้ง 4 ประเภทมีลักษณะการแสดงผลการติดตั้ง และต้นทุนการใช้งาพลังงานที่แตกต่างกัน ซึ่งจะถูกนำมาวิเคราะห์

เปรียบเทียบเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการใช้งานจริงภายใต้บริบทของถนนที่มีการควบคุมความเร็ว รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของทางเลือกในการติดตั้งป้ายเตือนความเร็ว

รูปแบบป้ายเตือนความเร็ว	ป้ายตรวจจับความเร็ว	Over Speed warning	ป้าย Your Speed	ป้าย Speed Limit
ภาพตัวอย่าง				
รูปแบบโครงสร้าง	ป้ายข้างทาง	Overhead Signs	Overhead Signs	Overhead Signs
รูปแบบป้าย	Static+ LED	LED	Static+ LED	LED
พลังงานที่ใช้	แสงอาทิตย์	ไฟฟ้า	ไฟฟ้า	ไฟฟ้า
ระยะการมองเห็น	60 ม.	120-400 ม.	120-400 ม.	120-400 ม.

ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการประเมินประสิทธิภาพของการติดตั้งป้ายและอุปกรณ์เพื่อเตือนความเร็วการจราจร โดยพิจารณาจากเกณฑ์การตัดสินใจที่ครอบคลุมใน 3 ด้านหลัก ได้แก่ ปัจจัยด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัย ปัจจัยด้านวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม และปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งแต่ละปัจจัยหลักประกอบด้วยปัจจัยรองที่เกี่ยวข้องตามรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยเชิงลำดับชั้นในการประเมินทางเลือกของอุปกรณ์เตือนความเร็ว

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยรอง
ปัจจัยด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัย	การออกแบบป้ายให้เข้าใจและดึงดูดความสนใจ
	ความสามารถในการเตือนให้ผู้ขับขี่ลดความเร็ว
ปัจจัยด้านวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม	ความยากง่ายในการบำรุงรักษา
	ผลกระทบของป้ายต่อสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษจากแสงหรือเสียง
	การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์และการใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	ต้นทุนในการติดตั้ง
	การลดอุบัติเหตุ
	การใช้งาพลังงาน เช่น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มความยั่งยืนและลดต้นทุนในระยะยาว

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

ระเบียบวิธีในการศึกษาการประเมินประสิทธิภาพของการติดตั้งป้ายและอุปกรณ์เพื่อเตือนความเร็วการจราจร ด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น ผู้วิจัยได้เลือกกำหนดแนวทางในการศึกษาภายใต้กรอบการศึกษาดังต่อไปนี้

3.1.1 ศึกษาและสืบค้นข้อมูลจากบทความ วารสาร วิทยานิพนธ์ และงานวิจัยต่างๆ ที่มีเนื้อหาครอบคลุมประเด็นต่างๆ ดังนี้

- การติดตั้งและการจัดการป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็วในการจราจร
- ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็วในการลดความเร็วของยานพาหนะ
- แนวคิดและทฤษฎีของกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP)
- แนวคิดทางวิศวกรรมจราจรเกี่ยวกับพฤติกรรมผู้ขับขี่และการควบคุมความเร็วในถนนสายต่างๆ

3.1.2 ทำการรวบรวมข้อมูลรายละเอียดของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็วการจราจร เช่น ประสิทธิภาพในการลดความเร็ว ความชัดเจนในการมองเห็น ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ และความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

3.1.3 สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมจราจร เจ้าหน้าที่ภาครัฐที่เกี่ยวข้อง และมีประสบการณ์ในการติดตั้งหรือดูแลป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็ว เพื่อทำการถ่วงน้ำหนักของเกณฑ์การประเมินแต่ละปัจจัยผ่านการเปรียบเทียบแบบคู่ (Pair-wise Comparison)

3.1.4 นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP) เพื่อจัดลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย และประเมินประสิทธิภาพของป้ายและอุปกรณ์แต่ละประเภทที่ใช้ในการควบคุมความเร็ว

3.1.5 สรุปผลการประเมินและจัดลำดับประเภทของป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็วที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อเด่นข้อด้อยของแต่ละทางเลือก เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ป้ายและอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ในอนาคต

3.2 กลุ่มเป้าหมายของงานวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ จะทำการศึกษาข้อมูลจากผู้ให้ข้อมูลเพื่อใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์ และการสัมภาษณ์ ซึ่งจะประกอบไปด้วย

- เจ้าหน้าที่ที่มีความเชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมจราจร จำนวน 4 ท่าน
- เจ้าหน้าที่จากทางพิเศษแห่งประเทศไทย จำนวน 2 ท่าน
- เจ้าหน้าที่จากบริษัททางยกระดับดอนเมือง จำกัด จำนวน 2 ท่าน
- ผู้เชี่ยวชาญด้านผังเมือง จำนวน 2 ท่าน

3.3 ข้อมูลและการเก็บรวบรวม

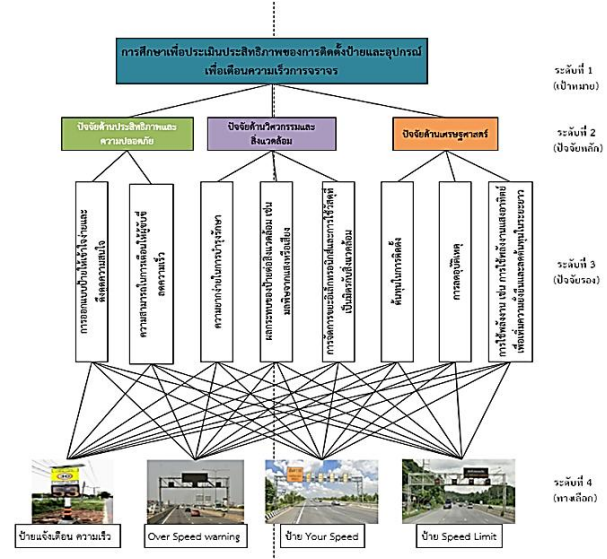
การรวบรวมข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากบทความ วารสาร วิทยานิพนธ์ และงานวิจัยต่างๆ ผ่านแหล่งข้อมูลออนไลน์และเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งป้ายและอุปกรณ์เพื่อเตือนความเร็วการจราจร รวมถึงแนวคิดเกี่ยวกับพฤติกรรมผู้ขับขี่และการควบคุมความเร็ว นอกจากนี้ ยังได้ดำเนินการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง โดยข้อมูลที่ได้จะถูกจัดเรียงและจำแนกออกเป็นหมวดหมู่ตามลำดับชั้นของปัจจัยต่างๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และประเมินลำดับความสำคัญของปัจจัยแต่ละด้านด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) อย่างเป็นระบบและมีความน่าเชื่อถือ

4. วิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย

4.1 การหาค่าน้ำหนักความสำคัญ (Weights) ของปัจจัยที่พิจารณา

4.1.1 การจำแนกองค์ประกอบการตัดสินใจ (Decomposition)

เป็นขั้นตอนที่ผู้เชี่ยวชาญจะมีการกำหนดปัจจัยการตัดสินใจออกเป็นองค์ประกอบย่อยเพื่อพัฒนาเป็นโครงสร้างการตัดสินใจแบบลำดับชั้น (Hierarchy Structure) จากลำดับชั้นบนสุด (เป้าหมาย) ถึงลำดับชั้นล่างสุด (ทางเลือกที่พิจารณา) โดยโครงสร้างการตัดสินใจเพื่อประเมินประสิทธิภาพของการติดตั้งป้ายและอุปกรณ์เพื่อเตือนความเร็วการจราจร ด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น



รูปที่ 2 โครงสร้างการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น

4.1.2 การจัดลำดับความสำคัญ (Prioritization)

เป็นขั้นตอนการจัดลำดับความสำคัญ (Prioritization) ผู้วิจัยได้ดำเนินการเปรียบเทียบปัจจัยการตัดสินใจทีละคู่ (Pairwise Comparison) โดยใช้มาตราส่วน 1 ถึง 9 ตามแนวคิดของ Saaty (2523) เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ (Relative Weights) ของแต่ละปัจจัย การเปรียบเทียบและประเมินค่าความสำคัญนี้ได้จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 10 คน ซึ่งผลการประเมินจะนำไปสร้างเมทริกซ์การตัดสินใจ เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของการตัดสินใจ จะคำนวณดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index, CI) ด้วยสูตร:

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

และพิจารณาอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio, CR) ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างค่า CI กับค่าดัชนีความสอดคล้องสุ่ม (Random Consistency Index: RI) โดยทั่วไป หากค่า $CR \leq 0.10$ จะถือว่า การตัดสินใจมีความเที่ยงตรง และผลลัพธ์จากการประเมินมีความน่าเชื่อถือ (Saaty and Vargas, 2554)

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีความสอดคล้องสุ่ม (RI)

จำนวนปัจจัย	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.49

หลังจากดำเนินการคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยจากการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (AHP) ของผู้เชี่ยวชาญแต่ละรายเสร็จสิ้นแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการหาค่ารวมของน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ โดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean Method: GMM) ตามแนวทางที่เสนอโดย Ishizaka & Labib (2011) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เป็นกลางและสะท้อนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งกลุ่มได้อย่างถูกต้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้นำค่าความสำคัญจากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญมาสร้างเมทริกซ์เปรียบเทียบแบบคู่ (Pairwise Comparison Matrix) ทั้งในระดับของปัจจัยหลัก และปัจจัยรองที่อยู่ภายใต้ปัจจัยหลักแต่ละกลุ่ม โดยคำนวณค่าน้ำหนักเฉลี่ยรวมของแต่ละปัจจัย พร้อมทั้งตรวจสอบค่าความสอดคล้องของการตัดสินใจแบบกลุ่ม (Group Decision Making)

ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าความไม่สอดคล้อง (CR) ของผู้เชี่ยวชาญแต่ละราย รวมถึงค่า CR ที่ได้จากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 0.10 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ และมีความน่าเชื่อถือเพียงพอสำหรับนำไปใช้ในการสังเคราะห์ผลลัพธ์ลำดับความสำคัญ

ของป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็วในการจราจรโดยมีตัวอย่างเมทริกซ์การเปรียบเทียบเป็นคู่ของปัจจัยหลัก และปัจจัยรองที่อยู่ภายใต้ปัจจัยหลักแต่ละปัจจัยของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 ถึงตารางที่ 6

ตารางที่ 4 เมทริกซ์การเปรียบเทียบแบบคู่สำหรับปัจจัยหลัก

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัย	ปัจจัยด้านวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม	ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	Priority	Normalized Priority
ปัจจัยด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัย	1	6/7	3/4	0.854	0.282
ปัจจัยด้านวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม	1 1/6	1	4/5	0.982	0.324
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1 3/8	1 1/4	1	1.192	0.394

ตารางที่ 4 ผลการประเมินน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลักในการศึกษาการติดตั้งป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็ว พบว่า ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ให้น้ำหนักความสำคัญมากที่สุด โดยมีค่า Priority เท่ากับ 1.192 และ Normalized Priority เท่ากับ 0.394 รองลงมาคือ ปัจจัยด้านวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม (Normalized Priority = 0.324) และ ปัจจัยด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัย (Normalized Priority = 0.282)

ตารางที่ 5 เมทริกซ์การเปรียบเทียบแบบคู่สำหรับปัจจัยรองภายใต้ปัจจัยด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัย

ปัจจัยด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัย	การออกแบบป้ายให้เข้าใจง่ายและดึงดูดความสนใจ	ความสามารถในการเตือนให้ผู้ขับขี่ลดความเร็ว	Priority	Normalized Priority
การออกแบบป้ายให้เข้าใจง่ายและดึงดูดความสนใจ	1	2/3	0.833	0.410
ความสามารถในการเตือนให้ผู้ขับขี่ลดความเร็ว	1 4/9	1	1.200	0.590

ตารางที่ 5 ผลการประเมินน้ำหนักความสำคัญภายใต้ ปัจจัยด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัย พบว่า ความสามารถในการเตือนให้ผู้ขับขี่ลดความเร็ว ได้รับความสำคัญสูงสุด โดยมีค่า Priority เท่ากับ 1.200 และ Normalized Priority เท่ากับ 0.590 ขณะที่ การออกแบบป้ายให้เข้าใจง่าย และดึงดูดความสนใจ มีค่า Normalized Priority เท่ากับ 0.410

ตารางที่ 6 เมทริกซ์การเปรียบเทียบแบบคู่สำหรับปัจจัยรองภายใต้ปัจจัยด้านวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยด้านวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม	ความยากง่ายในการบำรุงรักษา	ผลกระทบของป้ายต่อสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษจากแสงหรือเสียง	การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์และการใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	Priority	Normalized Priority
ความยากง่ายในการบำรุงรักษา	1	1 2/9	1	1.098	0.365
ผลกระทบของป้ายต่อสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษจากแสงหรือเสียง	4/5	1	1	0.961	0.319
การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์และการใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	1	1	1	0.948	0.315

ตารางที่ 6 ผลการประเมินน้ำหนักความสำคัญภายใต้ ปัจจัยด้านวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม พบว่า ความยากง่ายในการบำรุงรักษา ได้รับความสำคัญสูงสุด โดยมีค่า Priority เท่ากับ 1.098 และ Normalized Priority เท่ากับ 0.365 รองลงมาคือ ผลกระทบของป้ายต่อสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษจากแสงหรือเสียง (Normalized Priority = 0.319) และ การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์และการใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Normalized Priority = 0.315)

ตารางที่ 7 เมทริกซ์การเปรียบเทียบแบบคู่สำหรับปัจจัยรองภายใต้ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์

ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	ต้นทุนในการติดตั้ง	การดูแลรักษา	การใช้พลังงาน เช่น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเก็บความยั่งยืนและลดต้นทุนในระยะยาว	Priority	Normalized Priority
ต้นทุนในการติดตั้ง	1	1/3	1	0.724	0.206
การดูแลรักษา	2 7/8	1	3 2/5	2.139	0.610
การใช้พลังงาน เช่น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเก็บความยั่งยืนและลดต้นทุนในระยะยาว	1	2/7	1	0.646	0.184

ตารางที่ 7 ผลการประเมินน้ำหนักความสำคัญภายใต้ ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า การลดอุบัติเหตุ เป็นปัจจัยที่ได้รับความสำคัญมากที่สุด โดยมีค่า Priority เท่ากับ 2.139 และ Normalized Priority เท่ากับ 0.610 รองลงมาคือ ต้นทุนในการติดตั้ง (Normalized Priority = 0.206) และ การใช้พลังงาน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มความยั่งยืนและลดต้นทุนในระยะยาว (Normalized Priority = 0.184)

4.1.3 การประเมินน้ำหนักความสำคัญของทางเลือกภายใต้ปัจจัยด้านต่างๆ ในการประเมินครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบความเหมาะสมของทางเลือกในการติดตั้งป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็ว ได้แก่ ป้ายตรวจจับความเร็ว (Speed Sign), ป้าย Over Speed Warning, ป้าย Your Speed ป้าย Speed Limit ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 8 ถึงตารางที่ 17

ตารางที่ 8 การประเมินน้ำหนักความสำคัญของทางเลือกภายใต้การออกแบบป้ายให้เข้าใจง่ายและดึงดูดความสนใจ

การออกแบบป้ายให้เข้าใจง่ายและดึงดูดความสนใจ	ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว	Over Speed warning	ป้าย Your Speed	ป้าย Speed Limit	Priority	Normalized Priority
ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว	1	4/9	3/7	2/5	0.525	0.124
Over Speed warning	2 2/7	1	1	1	1.190	0.280
ป้าย Your Speed	2 1/3	1	1	1 1/9	1.283	0.302
ป้าย Speed Limit	2 1/2	1	1	1	1.248	0.294

ตารางที่ 8 ผลการประเมินน้ำหนักความสำคัญภายใต้ ปัจจัยด้านการออกแบบป้ายให้เข้าใจง่ายและดึงดูดความสนใจ พบว่า ป้าย Your Speed เป็นทางเลือกที่ได้รับความสำคัญมากที่สุด โดยมีค่า Priority เท่ากับ 1.283 และ Normalized Priority เท่ากับ 0.302 รองลงมาคือ ป้าย Speed Limit (Normalized Priority = 0.294) และ ป้าย Over Speed Warning (Normalized Priority = 0.280) ขณะที่ ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว ได้รับความสำคัญน้อยที่สุด (Normalized Priority = 0.124)

ตารางที่ 9 การประเมินน้ำหนักความสำคัญของทางเลือกภายใต้ความสามารถในการเตือนให้ผู้ขับขี่ลดความเร็ว

ความสามารถในการเตือนให้ผู้ขับขี่ลดความเร็ว	ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว	Over Speed warning	ป้าย Your Speed	ป้าย Speed Limit	Priority	Normalized Priority
ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว	1	5/8	2/3	5/7	0.734	0.180
Over Speed warning	1 3/5	1	1	1 1/7	1.173	0.288
ป้าย Your Speed	1 5/9	1	1	1 1/3	1.185	0.291
ป้าย Speed Limit	1 2/5	7/8	3/4	1	0.981	0.241

ตารางที่ 9 ผลการประเมินน้ำหนักความสำคัญภายใต้ ปัจจัยด้านความสามารถในการเตือนให้ผู้ขับขี่ลดความเร็ว พบว่า ป้าย Your Speed เป็นทางเลือกที่ได้รับความสำคัญมากที่สุด โดยมีค่า Priority เท่ากับ 1.185 และ Normalized Priority เท่ากับ 0.291 รองลงมาคือ ป้าย Over Speed Warning (Normalized Priority = 0.288) และ ป้าย Speed Limit (Normalized Priority = 0.241) ขณะที่ ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว ได้รับความสำคัญน้อยที่สุด (Normalized Priority = 0.180)

ตารางที่ 10 การประเมินน้ำหนักความสำคัญของทางเลือกภายใต้ความยากง่ายในการบำรุงรักษา

ความยากง่ายในการบำรุงรักษา	ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว	Over Speed warning	ป้าย Your Speed	ป้าย Speed Limit	Priority	Normalized Priority
ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว	1	8/9	2/3	1	0.886	0.217
Over Speed warning	1 1/8	1	3/4	1 1/5	0.996	0.244
ป้าย Your Speed	1 1/2	1 3/8	1	1 3/4	1.389	0.340
ป้าย Speed Limit	1	5/6	4/7	1	0.816	0.200

ตารางที่ 10 ผลการประเมินน้ำหนักความสำคัญภายใต้ ปัจจัยด้านความยากง่ายในการบำรุงรักษา พบว่า ป้าย Your Speed เป็นทางเลือกที่ได้รับความสำคัญมากที่สุด โดยมีค่า Priority เท่ากับ 1.389 และ Normalized Priority เท่ากับ 0.340 รองลงมาคือ ป้าย Over Speed Warning (Normalized Priority = 0.244) และ ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว (Normalized Priority = 0.217) ขณะที่ ป้าย Speed Limit ได้รับความสำคัญน้อยที่สุดในกลุ่มนี้ (Normalized Priority = 0.200)

ตารางที่ 11 การประเมินน้ำหนักความสำคัญของทางเลือกภายใต้ผลกระทบของป้ายต่อสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบของป้ายต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ผลกระทบจากแสงหรือเสียง	ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว	Over Speed warning	ป้าย Your Speed	ป้าย Speed Limit	Priority	Normalized Priority
ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว	1	1	1 1/9	1 1/7	1.062	0.265
Over Speed warning	1	1	1 1/6	1 1/8	1.069	0.267
ป้าย Your Speed	1	6/7	1	1	0.952	0.237
ป้าย Speed Limit	7/8	8/9	1	1	0.926	0.231

ตารางที่ 11 ผลการประเมินน้ำหนักความสำคัญภายใต้ ปัจจัยด้านผลกระทบของป้ายต่อสิ่งแวดล้อม พบว่า ป้าย Over Speed Warning เป็นทางเลือกที่ได้รับความสำคัญมากที่สุด โดยมีค่า Priority เท่ากับ 1.069 และ Normalized Priority เท่ากับ 0.267 รองลงมาคือ ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว (Normalized Priority = 0.265) และ ป้าย Your Speed (Normalized Priority = 0.237) ขณะที่ ป้าย Speed Limit ได้รับความสำคัญน้อยที่สุดในกลุ่มนี้ (Normalized Priority = 0.231)

ตารางที่ 12 การประเมินน้ำหนักความสำคัญของทางเลือกภายใต้การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์และการใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์และการใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว	Over Speed warning	ป้าย Your Speed	ป้าย Speed Limit	Priority	Normalized Priority
ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว	1	3	1 3/4	2 2/3	1.945	0.442
Over Speed warning	1/3	1	3/5	1	0.664	0.151
ป้าย Your Speed	4/7	1 5/7	1	1 3/8	1.075	0.244
ป้าย Speed Limit	3/8	1	3/4	1	0.721	0.164

ตารางที่ 12 ผลการประเมินน้ำหนักความสำคัญภายใต้ ปัจจัยด้านการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์และการใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม พบว่า ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว เป็นทางเลือกที่ได้รับความสำคัญมากที่สุด โดยมีค่า Priority เท่ากับ 1.945 และ Normalized Priority เท่ากับ 0.442 รองลงมาคือ ป้าย Your Speed (Normalized Priority = 0.244) และ ป้าย Speed Limit (Normalized Priority = 0.164) ขณะที่ ป้าย Over Speed Warning ได้รับความสำคัญน้อยที่สุดในกลุ่มนี้ (Normalized Priority = 0.151)

ตารางที่ 13 การประเมินน้ำหนักความสำคัญของทางเลือกภายใต้ต้นทุนในการติดตั้ง

ต้นทุนในการติดตั้ง	ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว	Over Speed warning	ป้าย Your Speed	ป้าย Speed Limit	Priority	Normalized Priority
ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว	1	3	2 1/5	2	1.900	0.437
Over Speed warning	1/3	1	3/4	7/9	0.669	0.154
ป้าย Your Speed	4/9	1 1/3	1	1	0.859	0.198
ป้าย Speed Limit	1/2	1 2/7	1	1	0.917	0.211

ตารางที่ 13 ผลการประเมินน้ำหนักความสำคัญภายใต้ ปัจจัยด้านต้นทุนในการติดตั้ง พบว่า ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว เป็นทางเลือกที่ได้รับความสำคัญมากที่สุด โดยมีค่า Priority เท่ากับ 1.900 และ Normalized Priority เท่ากับ 0.437 รองลงมาคือ ป้าย Speed Limit (Normalized Priority = 0.211) และ ป้าย Your Speed (Normalized Priority = 0.198)

ขณะที่ ป้าย Over Speed Warning ได้รับความสำคัญน้อยที่สุด (Normalized Priority = 0.154)

ตารางที่ 14 การประเมินน้ำหนักความสำคัญของทางเลือกภายใต้การลดอุบัติเหตุ

การลดอุบัติเหตุ	ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว	Over Speed warning	ป้าย Your Speed	ป้าย Speed Limit	Priority	Normalized Priority
ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว	1	1/5	1/6	1/4	0.296	0.061
Over Speed warning	5 1/5	1	8/9	1 1/5	1.537	0.318
ป้าย Your Speed	5 6/7	1 1/8	1	1 3/8	1.732	0.358
ป้าย Speed Limit	4 1/4	5/6	3/4	1	1.269	0.262

ตารางที่ 14 ผลการประเมินน้ำหนักความสำคัญภายใต้ ปัจจัยด้านการลดอุบัติเหตุ พบว่า ป้าย Your Speed เป็นทางเลือกที่ได้รับความสำคัญมากที่สุด โดยมีค่า Priority เท่ากับ 1.732 และ Normalized Priority เท่ากับ 0.358 รองลงมาคือ ป้าย Over Speed Warning (Normalized Priority = 0.318) และ ป้าย Speed Limit (Normalized Priority = 0.262) ขณะที่ ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว ได้รับความสำคัญน้อยที่สุดในกลุ่มนี้ (Normalized Priority = 0.061)

ตารางที่ 15 การประเมินน้ำหนักความสำคัญของทางเลือกภายใต้การใช้พลังงาน

การใช้พลังงาน เช่น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มความยั่งยืนและลดต้นทุนในระยะยาว	ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว	Over Speed warning	ป้าย Your Speed	ป้าย Speed Limit	Priority	Normalized Priority
ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว	1	1/2	1/2	1/2	0.576	0.138
Over Speed warning	2 1/6	1	1	1	1.249	0.299
ป้าย Your Speed	2 1/9	1	1	1	1.212	0.290
ป้าย Speed Limit	2	1	1	1	1.147	0.274

ตารางที่ 15 ผลการประเมินน้ำหนักความสำคัญภายใต้ ปัจจัยด้านการใช้พลังงาน เช่น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มความยั่งยืนและลดต้นทุนในระยะยาว พบว่า ป้าย Over Speed Warning เป็นทางเลือกที่ได้รับความสำคัญมากที่สุด โดยมีค่า Priority เท่ากับ 1.249 และ Normalized Priority เท่ากับ 0.299 รองลงมาคือ ป้าย Your Speed (Normalized Priority = 0.290) และ ป้าย Speed Limit (Normalized Priority = 0.274) ขณะที่ ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว ได้รับความสำคัญน้อยที่สุดในกลุ่มนี้ (Normalized Priority = 0.138)

4.2 การวิเคราะห์ลำดับความสำคัญรวม (Composite Priorities) ของทางเลือกในการติดตั้งป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็วการจราจร

ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) หลังจากได้ค่าความสำคัญจำเพาะของแต่ละทางเลือกภายใต้ปัจจัยย่อย (Local Priority) และน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลักแต่ละกลุ่ม (Criteria Weights) แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการนำข้อมูลทั้งสองส่วนมาสังเคราะห์ร่วมกัน เพื่อคำนวณหาความสำคัญโดยรวมของแต่ละทางเลือก ซึ่งเรียกว่า Composite Priorities หรือ Global Priorities

การสังเคราะห์ลำดับความสำคัญรวมนี้เป็นกระบวนการสำคัญในการแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของทางเลือกโดยพิจารณาจากทุกปัจจัยร่วมกันอย่างเป็นระบบ โดยทำได้โดยการนำค่าความสำคัญจำเพาะของแต่ละทางเลือกภายใต้ปัจจัยย่อย มาคูณกับค่าน้ำหนักของปัจจัยย่อยนั้น แล้วนำผลที่ได้จากแต่ละปัจจัยย่อยมารวมกัน เพื่อหาค่ารวมสุดท้ายของแต่ละทางเลือก ผลการวิเคราะห์ลำดับความสำคัญรวม (Composite Priorities) แสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 การวิเคราะห์หาลำดับความสำคัญรวม (Composite Priorities)

Alternative	Criteria	ปัจจัยด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัย		ปัจจัยด้านวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม			ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์			Composite
		0.282		0.324			0.394			Priorities
	Sub-criteria	การออกแบบป้ายให้เข้าใจง่ายและดึงดูดความสนใจ	ความสามารถในการเตือนให้ผู้ขับขี่ลดความเร็ว	ความยากง่ายในการบำรุงรักษา	ผลกระทบของป้ายต่อสิ่งแวดล้อม	การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์และการใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	ต้นทุนการติดตั้ง	การลดอุบัติเหตุ	การใช้พลังงาน	Σ
		0.410	0.590	0.351	0.298	0.352	0.206	0.610	0.184	3.000
ป้ายแจ้งเตือน ความเร็ว	Score by criterion	0.124	0.180	0.217	0.265	0.442	0.437	0.061	0.138	1.863
	Overall Priority	0.014	0.030	0.025	0.026	0.050	0.036	0.015	0.010	0.205
Over Speed warning	Score by criterion	0.280	0.288	0.244	0.267	0.151	0.154	0.318	0.299	2.000
	Overall Priority	0.032	0.048	0.028	0.026	0.017	0.013	0.076	0.022	0.261
ป้าย Your Speed	Score by criterion	0.302	0.291	0.340	0.237	0.244	0.198	0.358	0.290	2.260
	Overall Priority	0.035	0.048	0.039	0.023	0.028	0.016	0.086	0.021	0.296
ป้าย Speed Limit	Score by criterion	0.294	0.241	0.200	0.231	0.164	0.211	0.262	0.274	1.877
	Overall Priority	0.034	0.040	0.023	0.022	0.019	0.017	0.063	0.020	0.238
										1.000

5. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มุ่งเน้นการประเมินทางเลือกที่เหมาะสมในการติดตั้งป้ายและอุปกรณ์เพื่อเตือนความเร็วบนท้องถนน โดยอาศัยกระบวนการตัดสินใจเชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) เพื่อเปรียบเทียบความสำคัญเชิงสัมพัทธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ทั้งในด้านประสิทธิภาพการใช้งาน ความปลอดภัย วิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม รวมถึงเศรษฐศาสตร์ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์มีน้ำหนักมากที่สุด (0.394) สะท้อนถึงความสำคัญของการลดอุบัติเหตุ (0.610) และต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งและดำเนินงาน ขณะที่ปัจจัยด้านวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม (0.324) มีองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ การจัดการวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (0.352) และความสะดวกในการบำรุงรักษา (0.351)

ด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัย (0.282) พบว่าความสามารถในการเตือนให้ผู้ขับขี่ลดความเร็ว (0.590) มีความสำคัญสูงสุดในกลุ่มนี้

ผลการศึกษาค้นคว้าได้นำเสนอแนวทางการประเมินที่ครอบคลุมหลายมิติ ไม่ว่าจะเป็นด้านประสิทธิภาพในการใช้งาน ความปลอดภัย วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งล้วนเป็นองค์ประกอบสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้ป้ายและอุปกรณ์เตือนความเร็วในสภาพแวดล้อมของการจราจร แนวทางการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อสนับสนุนการวางแผนออกแบบระบบจราจรที่ตอบสนองต่อความเปลี่ยนแปลงของสภาพสังคมและเทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยยังมีข้อจำกัดบางประการ โดยเฉพาะในด้านการพิจารณาปัจจัยเชิงบริบทเฉพาะพื้นที่ เช่น ลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันในแต่ละเขต พฤติกรรมการขับขี่ที่มีลักษณะเฉพาะถิ่น และความสามารถของหน่วยงานในพื้นที่ในการบังคับใช้กฎหมายจราจร ซึ่งล้วนมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของมาตรการที่นำไปใช้จริง ดังนั้น ในการนำผลการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ในบริบทที่แตกต่างออกไป จึงควรมีการปรับชุดเกณฑ์การประเมินให้มีความยืดหยุ่นและตอบสนองต่อสภาพความเป็นจริงของพื้นที่เป้าหมายอย่างเหมาะสม ปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาเพิ่มเติม ได้แก่ ความถี่ของการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ความหนาแน่นของประชากรในเขตพื้นที่การเข้าถึงพลังงานและโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยี รวมถึงข้อจำกัดด้านงบประมาณและบุคลากรของหน่วยงานที่รับผิดชอบ ทั้งนี้ เพื่อให้การเลือกใช้มาตรการด้านจราจรมีประสิทธิภาพสูงสุด และสามารถ

ตอบสนองต่อความต้องการของประชาชนในพื้นที่ได้อย่างแท้จริง โดยไม่สูญเสียความยั่งยืนและความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจในระยะยาว

แม้ว่าผลการศึกษาครั้งนี้จะสามารถนำเสนอแนวทางการประเมินที่ครอบคลุมหลายมิติและให้ผลลัพธ์ที่มีนัยสำคัญในการเลือกป้ายเตือนความเร็วที่เหมาะสมที่สุด แต่ลักษณะเฉพาะของพื้นที่ที่ศึกษาซึ่งประกอบด้วยเส้นทางที่มีความแตกต่างกันทั้งในเขตเมือง เขตชนเมือง และพื้นที่ชนบท ยังมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของมาตรการที่นำเสนออย่างมีนัยสำคัญ พฤติกรรมผู้ขับขี่ในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน เช่น เขตเมืองมีการควบคุมจราจรอย่างเข้มงวดและพฤติกรรมการขับขี่มีระเบียบมากกว่า ขณะที่พื้นที่ชนบทมีการขับขี่ด้วยความเร็วสูงและการรับรู้ต่อมาตรการเตือนความเร็วยังคงค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ ลักษณะของถนนที่แตกต่างกัน เช่น ถนนทางตรงระยะยาวที่เอื้อต่อการขับขี่ด้วยความเร็วสูง ถนนโค้งแคบที่ต้องการการควบคุมความเร็วอย่างระมัดระวัง และถนนลาดชันที่เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ ล้วนส่งผลต่อประสิทธิภาพของป้ายเตือนความเร็วในแต่ละพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญ ข้อจำกัดสำคัญของการศึกษาคือการเลือกตัวอย่างพื้นที่และช่วงเวลาที่ไม่ครอบคลุมถึงสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย รวมถึงความแปรผันตามฤดูกาลที่อาจเปลี่ยนแปลงรูปแบบการขับขี่ ดังนั้น เพื่อให้การประยุกต์ใช้นโยบายมีความแม่นยำและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นต้องมีการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมในลักษณะถนนและบริบทสภาพแวดล้อมที่หลากหลายมากขึ้นในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง “การศึกษาเพื่อประเมินประสิทธิภาพของการติดตั้งป้ายและอุปกรณ์เพื่อเตือนความเร็วการจราจร ด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น” ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาและความเอาใจใส่อย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชร สัตยาประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้เมตตาให้คำแนะนำอย่างใกล้ชิด ทั้งในด้านแนวคิด ทิศทางการดำเนินการวิจัย ตลอดจนข้อเสนอแนะอันทรงคุณค่าในการปรับปรุงเนื้อหาให้มีความครบถ้วน ถูกต้อง และสอดคล้องตามหลักวิชาการทุกประการ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่าน

อาจารย์ไฉ่ ณ โอกาสนี้ ด้วยความเคารพและสำนึกในพระคุณ
อย่างหาที่สุดมิได้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ หน่วยงานด้าน
จราจรและการคมนาคมที่เกี่ยวข้อง รวมถึง เจ้าหน้าที่
ผู้เชี่ยวชาญจากภาครัฐและภาคเอกชน ทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้
ข้อมูล ความคิดเห็น และข้อเสนอแนะเชิงวิชาการ ซึ่งมีส่วน
สำคัญอย่างยิ่งต่อความสมบูรณ์ของงานวิจัยฉบับนี้

ท้ายที่สุด ผู้วิจัยขอน้อมระลึกถึงน้ำใจและความ
ร่วมมือจากทุกภาคส่วนที่มีส่วนเกี่ยวพันในการดำเนินงาน
วิจัยครั้งนี้ ด้วยความขอบพระคุณและความซาบซึ้งใจอย่างยิ่ง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศุภโชค นาคเกตุ (2558). อิทธิพลของป้ายแจ้งเตือนความเร็วที่มี
ต่อรถยนต์บนทางหลวงสองช่องจราจรในประเทศไทย. วิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [2] เอกราช จันทวิชัย (2560). การประเมินประสิทธิภาพของป้าย
บอกความเร็วบนทางหลวงหมายเลข 32. วิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [3] จิรวัดน์ เฟื่องศรีทอง, ศิวัช ปัญญาชัยวัฒนากุล, พรณรงค์ เลื่อน
เพ็ชร , เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร (2564). การประเมิน
ประสิทธิภาพของป้ายแจ้งเตือนความเร็วแบบพลังงาน
แสงอาทิตย์บนทางพิเศษบูรพาวิถี. กองวิจัยและพัฒนา การทาง
พิเศษแห่งประเทศไทย.
- [4] วรากรณ์ วรลักษณ์, ธนศ เสถียรนาม, วิชุดา เสถียรนาม, เฉลิม
เกียรติ ศรีละกุล, นพดล กรประเสริฐ (2566). การประเมิน
ประสิทธิภาพของป้ายแสดงความเร็วของยานพาหนะ. วิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [5] ชานุกต์ แร่งสาริกรรม, โกศล จันมณฑา, นรินทร์ เอื้อศิริวรรณ,
อุบลรัตน์ วาริชวัฒนะ (2561). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการ
คัดเลือกสายทางในจังหวัดอุดรธานีเพื่อสนับสนุนการขนส่งสินค้า
โดยรถไฟทางคู่. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษม
บัณฑิต.
- [6] อาริยา กุลโท , พนกฤษณ คลังบุญครอง (2566). การ
ประยุกต์ใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายปัจจัยอย่างผสมผสาน
(HMADM) ในการคัดเลือกที่ตั้งของการก่อสร้างท่าเรือบก (Dry
port) ที่เหมาะสม: กรณีศึกษาจังหวัดขอนแก่น. ศูนย์วิจัยและ
พัฒนาโดยโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาภาควิชาวิศวกรรม
โยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [7] สื่อการสอน วัชร สัตยาประเสริฐ รายวิชา Project Evaluation
Methods for engineering สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้าง
พื้นฐานและการบริหารงานก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร