

รายงานการศึกษาและวิเคราะห์การจราจรด้วยแบบจำลองระดับจุลภาค

การแก้ไขปัญหาคอขวดตัดกระแสจราจรบนทางขนาน ทางหลวงหมายเลข 35 (ถนนพระราม 2)

บริเวณแยกถนนเศรษฐกิจ 1 (ทางหลวงหมายเลข 3091) อำเภอเมืองสมุทรสาคร

ข้อเสนอ: ทางเลือก S7 — ทางลัด + บล็อกช่องจราจร

จัดทำโดย

สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง

ประมวลผลจากแบบจำลอง PTV Vissim 2025 — 9 สถานการณ์ × 10 seeds รวม 90 รอบการจำลอง

วันที่จัดทำรายงาน 11/09/2569

สารบัญ

1. บทสรุปผู้บริหาร
2. บทนำ วัตถุประสงค์ และขอบเขต
3. สภาพพื้นที่ศึกษา
4. ข้อมูลจราจรและอุบัติเหตุ
5. การวิเคราะห์ปัญหา
6. แบบจำลองจราจร
7. ผลการจำลองและการเปรียบเทียบทางเลือก
8. ทางเลือกที่เสนอ (S7) และแบบเบื้องต้น
9. ข้อจำกัดและงานที่ต้องดำเนินการต่อ

ภาคผนวก ก — สมมติฐานหลัก

ภาคผนวก ข — ผลรายละเอียดและไฟล์ข้อมูล

ภาคผนวก ค — บันทึกการปรับเทียบพฤติกรรมแบบจำลอง

ภาคผนวก ง — วิธีคำนวณตัวชี้วัดความปลอดภัย

ภาคผนวก จ — ที่มาข้อมูลและเครื่องมือ

หมายเหตุ: ไฟล์ฉบับ Word สามารถแทรกสารบัญพร้อมเลขหน้าอัตโนมัติได้จากเมนู References > Table of Contents

1. บทสรุปผู้บริหาร

1.1 ปัญหา

ทางขนานขาออกของทางหลวงหมายเลข 35 (ถนนพระราม 2) ช่วงก่อนแยกถนนเศรษฐกิจ 1 มีจุดตัดกระแสจราจร (weaving) ระยะเพียง 38 เมตร ระหว่างรถที่ลงจากสะพานข้ามแยกกับรถบนทางขนาน เมื่อมีการติดตั้งเบริเออร์ปิดจุดตัดดังกล่าวเพื่อความปลอดภัย รถบนทางขนานที่ต้องการตรงไปจึงถูกบังคับให้เลี้ยวซ้าย แล้ววนกลับรถเป็นระยะทางเพิ่มขึ้นประมาณ 211 เมตร ทำให้เกิดแถวคอยสะสมยาวและข้อร้องเรียนจากผู้ใช้งาน

ผลการจำลองสภาพปัจจุบันยืนยันความรุนแรงของปัญหา: ความล่าช้าเฉลี่ย 126 วินาทีต่อคัน แถวคอยบนทางขนานยาวถึง 1,077 เมตร และแถวคอยที่ปลายสะพานลง 842 เมตร โดยมีรถประมาณ 396 คันต่อชั่วโมงที่ไม่สามารถเข้าสู่พื้นที่ศึกษาได้เลยในชั่วโมงเร่งด่วน

1.2 หลักฐาน

- ปริมาณจราจร: ทล.35 ตอน 0201 AADT 143,116 คัน/วัน (รถหนัก 38.32 %) และ ทล.3091 ตอน 0100 AADT 37,588 คัน/วัน (รถหนัก 7.46 %) แปลงเป็นชั่วโมงเร่งด่วนด้วย $K = 0.08$, $D = 0.55$ ได้ 13,803 คัน/ชั่วโมง
- อุบัติเหตุ: 31 ครั้งในรัศมี 400 เมตร ระหว่างปี 2561–2565 มีผู้เสียชีวิต 3 ราย คิดเป็นประมาณ 4.6 เท่าของค่าเฉลี่ยตอนควบคุม
- แบบจำลอง: PTV Vissim 2025 ควบคุมผ่าน COM ทั้งหมด เราคาดคิดตรวจสอบกับ OpenStreetMap และ ภาพถ่ายดาวเทียม คลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1 เซนติเมตร ยึดความยาวโครงข่ายรวม 17.3 กิโลเมตร เพื่อให้แถวคอยสะสมอยู่ในแบบจำลองได้
- ความน่าเชื่อถือทางสถิติ: ทุกสถานการณ์จำลอง 10 seeds เปรียบเทียบรายคู่แบบจับคู่ตาม seed เดียวกัน (paired t-test) และรายงานค่าเฉลี่ยพร้อมช่วงเชื่อมั่น 95 %

1.3 ทางเลือกที่ศึกษา

ตารางที่ 1-1 สรุปทางเลือกและผลการจำลองหลัก

ทางเลือก	สาระสำคัญ	ล่าช้า (วิ/คัน)	ระบาย (คัน/ชม.)	คิวจุดกลับรถ (ม.)
S0 ก่อนปิดเบริเออร์ (ย้อนอดีต)	ก่อนปิด (ย้อนอดีต)	32.0	13,844	14
S1 สภาพปัจจุบัน	ปัจจุบัน (ปิดด้วยเบริเออร์)	125.9	12,213	267
S2 ทางเลือก D + ทางลัด	ทางเลือก D + เลี้ยวขวาทำ ปรัง	34.4	13,750	4
S3 ทางเลือก D + ป้ายหยุด	S2 + สัญญาณไฟจุดเลี้ยว ขวา	175.1	11,771	447
S5 ทางลัดเลี้ยวขวาตัดใหม่	ปัจจุบัน + ทางลัดเลี้ยวขวา	57.7	13,395	2

	ตัดใหม่ผ่านเกาะ (ไม้			
S6 ปัจจุบัน + บล็อกช่องจราจร	ปัจจุบัน + บล็อกเลนทางหลัก ก่อนจุดกลับรถ (ขจัดก	157.6	11,659	575
S7 ทางลัด + บล็อกช่องจราจร	ปัจจุบัน + ทางลัดเลียขวา + บล็อกเลนทางหลัก	59.4	13,356	0
S8 ทางลัด + ช่องเร่งความเร็ว	ปัจจุบัน + ทางลัดเลียขวา + ช่องเร่งความเร็ว	57.0	13,423	12
S9 ช่องเร่งความเร็วอย่าง เดียว	ปัจจุบัน + ช่องเร่งความเร็ว จากลูบ (มาตรการเดี	102.3	12,611	201

1.4 ข้อเสนอ

คณะผู้จัดทำเสนอ **S7** ทางลัด + บล็อกช่องจราจร ประกอบด้วยสองมาตรการที่ทำพร้อมกัน

1. เปิดทางลัดเลียขวาตัดใหม่ผ่านเกาะกลางถนนเศรษฐกิจ 1 เพื่อให้รถที่เดิมต้องวนกลับรถ 211 เมตร เลี้ยวขวาได้โดยตรง
2. ตีเส้นทแยง (hatching) บล็อกช่องจราจรริมซ้ายของถนนเศรษฐกิจ 1 ขาใต้ ในช่วงก่อนจุดที่รถจากลูบกลับรถเข้าสมทบ เพื่อให้รถจากลูบมีช่องจราจรเฉพาะ ไม้
ต้องเบียดเข้ากระแสหลักอย่างกะทันหัน

ผลที่ได้เทียบสภาพปัจจุบัน: ความล่าช้าลดจาก 126 เหลือ 59 วินาทีต่อคัน (ลดลง 53 %) ระบายรถได้เพิ่มขึ้น 1,143 คันต่อชั่วโมง แกวคอยที่จุดกลับรถลดจาก
267 เมตรเหลือ 0 เมตร และเหตุการณ์เกือบชนแบบตัดกระแส (ประเภทที่สัมพันธ์กับการบาดเจ็บรุนแรงที่สุด) ต่ำที่สุดในบรรดาทางเลือกทั้งหมดที่ 156 ครั้งต่อ
ชั่วโมง

1.5 งบประมาณและระยะเวลา

ตารางที่ 1-2 ประมาณการค่าก่อสร้างเบื้องต้น **S7** ทางลัด + บล็อกช่องจราจร

รายการ	ปริมาณงานโดยประมาณ	ราคา (ล้านบาท)
งานเตรียมการ รื้อถอนเกาะกลางเดิม และงานจราจร ชั่วคราว	เหมารวม	0.80
งานดินและชั้นทางช่วงตัดใหม่ (ประมาณ 280 ตารางเมตร)	เหมารวม	0.90
งานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต	เหมารวม	0.60
งานคันหินและปรับรูปเกาะกลางใหม่	เหมารวม	0.90
งานระบบระบายน้ำและบ่อพัก	เหมารวม	1.20
งานไฟฟ้าแสงสว่างบริเวณจุดตัด	เหมารวม	1.40
งานป้ายจราจรและเครื่องหมายจราจร รวมเส้นทแยง บล็อกช่องจราจร	เหมารวม	1.10

อุปกรณ์อำนวยความสะดวก (การ์ดเรล หลัคนำทาง ตัวสะท้อนแสง)	เหมารวม	0.90
งานจราจรระหว่างก่อสร้างและป้ายเตือน	เหมารวม	0.70
รวมค่างานโดยตรง		8.50
ค่าอำนวยความสะดวก กำไร และค่าเผื่อ (25 %)		2.12
รวมทั้งสิ้น (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่มและค่าเวนคืน)		10.62

รวมประมาณ 10.6 ล้านบาท ระยะเวลาดำเนินการรวมประมาณ 9 เดือน (ออกแบบรายละเอียดและสำรวจเพิ่มเติม 4 เดือน จัดซื้อจัดจ้าง 2 เดือน ก่อสร้าง 3 เดือน)

รายละเอียดในหัวข้อที่ 8

2. บทนำ วัตถุประสงค์ และขอบเขต

2.1 ความเป็นมา

จุดตัดกระแสจราจรบนทางขนานทางหลวงหมายเลข 35 บริเวณแยกถนนเศรษฐกิจ 1 เป็นจุดที่มีสถิติอุบัติเหตุสูง กรมทางหลวงได้ติดตั้งเบรเอร์ปิดจุดตัดเพื่อลดอุบัติเหตุ ต่อมาได้รับข้อร้องเรียนจากผู้ใช้ทางเรื่องระยะทางที่เพิ่มขึ้น และแถวคอยสะสม จึงจำเป็นต้องศึกษาเชิงปริมาณเพื่อหาทางเลือกที่รักษาระดับความปลอดภัยไว้ได้ขณะที่ลดภาระของผู้ใช้ทาง

2.2 วัตถุประสงค์

3. สร้างแบบจำลองจราจรระดับจุลภาคที่สะท้อนสภาพจริงของพื้นที่ศึกษา
4. ประเมินสภาพปัจจุบันเชิงปริมาณ ทั้งด้านการจราจรและความปลอดภัย
5. เปรียบเทียบทางเลือกการปรับปรุงด้วยตัวชี้วัดเดียวกันและวิธีทางสถิติที่ตรวจสอบได้
6. เสนอทางเลือกที่เหมาะสมพร้อมแบบเบื้องต้น ประมาณราคา และแผนดำเนินการ

2.3 ขอบเขตการศึกษา

- พื้นที่ศึกษา: ทางหลวงหมายเลข 35 ช่วงหน้าแยกเศรษฐกิจ 1 รวมทางขนานทั้งสองทิศทาง สะพานข้ามแยก ถนนเศรษฐกิจ 1 และถนนคู่ขนาน ความยาวโครงข่ายรวม 17.3 กิโลเมตร
- ช่วงเวลา: ชั่วโมงเร่งด่วนเย็น ปริมาณจราจรเข้าพื้นที่ศึกษา 13,803 คันต่อชั่วโมง
- เวลาจำลอง 4,500 วินาทีต่อรอบ (อุปกรณ์ 900 วินาที) ความละเอียด 10 ขั้นตอนวินาที
- ไม่รวม: การวิเคราะห์โครงสร้างสะพาน งานระบบไฟฟ้าแสงสว่างรายละเอียด การเวนคืน และการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

3. สภาพพื้นที่ศึกษา

ทางหลวงหมายเลข 35 ในพื้นที่ศึกษามีขนาด 3 + 3 ช่องจราจร ช่องละ 3.50 เมตร ไหล่ทาง 3.00 เมตร เกาะกลาง 11 เมตร เขตทาง 70 เมตร (ด้านซ้าย 40 เมตร ด้านขวา 30 เมตร) ทางขนานขาออกมี 3 ช่องจราจร และลดเหลือ 2 ช่องบริเวณก่อนจุดตัด ส่วนทางหลวงหมายเลข 3091 (ถนนเศรษฐกิจ 1) มีขนาด 3 + 3 ช่องจราจร เกาะกลาง 4.20 เมตร เขตทาง 30 เมตร

ปัจจุบันมีการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 82 (M82) คร่อมแนวทางหลวงหมายเลข 35 การออกแบบทางเลือกจึงต้องพิจารณาความเข้ากันได้กับตำแหน่งเสาและพื้นที่ก่อสร้างของโครงการดังกล่าว ซึ่งเป็นหนึ่งในเกณฑ์ของตารางตัดสินใจในหัวข้อที่ 7



รูปที่ 3-1 จุดตัดกระแส 38 เมตร สภาพปัจจุบัน (S1) จากแบบจำลองซ้อนภาพถ่ายดาวเทียม



รูปที่ 3-2 จุดกลับรถที่รถจากทางขนานต้องใช้ในสภาพปัจจุบัน

4. ข้อมูลจราจรและอุบัติเหตุ

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลทางหลวงจากชั้นข้อมูล ROADNET

รายการ	ทล.35 ตอน 0201	ทล.3091 ตอน 0100
AADT (คัน/วัน)	143,116	37,588
สัดส่วนรถหนัก	38.32 %	7.46 %
ขนาดทาง	3 + 3 ช่องจราจร	3 + 3 ช่องจราจร
เกาะกลาง	11.00 ม.	4.20 ม.
เขตทาง	70 ม. (40/30)	30 ม.

การแปลงเป็นปริมาณชั่วโมงเร่งด่วนใช้ $K = 0.08$ และ $D = 0.55$ ได้ปริมาณเข้าพื้นที่ศึกษา รวม 13,803 คันต่อชั่วโมง กระจายตามโปรไฟล์ 15 นาที 0.22 / 0.26 / 0.28 / 0.24 และแยกชนิดรถ 6 ประเภทตามสัดส่วนจริง

ข้อมูลอุบัติเหตุจากชั้นข้อมูล v_accase ปี 2561–2565 พบอุบัติเหตุ 31 ครั้งในรัศมี 400 เมตรรอบจุดตัด มีผู้เสียชีวิต 3 ราย ค่าเฉลี่ย 6.2 ครั้งต่อปี ตัวเลขนี้ถูกนำมาใช้ปรับเทียบ (calibrate) อัตราแปลงเหตุการณ์เกือบชนเป็นอุบัติเหตุในหัวข้อที่ 7.3

ข้อจำกัดของข้อมูล: ช่วงข้อมูลอุบัติเหตุอาจคาบเกี่ยวทั้งก่อนและหลังการติดตั้งแบรีเออร์ และยังไม่มียุทธศาสตร์ปี 2565 จึงยังไม่สามารถประเมินผลของแบรีเออร์จากสถิติจริงได้โดยตรง

5. การวิเคราะห์ปัญหา

5.1 ระยะจุดตัดกระแสที่ไม่เพียงพอ

ระยะจุดตัดกระแสเดิมระหว่างปลายสะพานลงกับจุดแยกเข้าถนนเศรษฐกิจ 1 มีเพียง 38 เมตร ซึ่งสั้นกว่าระยะที่จำเป็นสำหรับการเปลี่ยนช่องจราจรอย่างปลอดภัยที่ความเร็ว 50–60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงอย่างมาก ผลคือผู้ขับขี่ต้องตัดสินใจเปลี่ยนช่องในระยะสั้น เกิดการเบียดกะทันหันและการชะลอตัวฉับพลัน

5.2 ต้นทุนของการอ้อม

ในสภาพปัจจุบัน รถบนทางขนานที่ต้องการตรงไปต้องเลี้ยวซ้ายแล้ววนกลับรถ ระยะทางเพิ่มขึ้นประมาณ 211 เมตร เวลาเดินทางบนเส้นทาง OD-a เพิ่มขึ้นจาก 298 วินาที (สภาพก่อนปิด) เป็น 419 วินาที และเมื่อคิดรวมทั้งโครงข่าย ความล่าช้ารวมเพิ่มจาก 155 เป็น 608 ชั่วโมง-คนต่อชั่วโมงเร่งด่วน

5.3 จุดคอขวดที่แท้จริง

การวิเคราะห์วิธีถอยคันชี้ว่าคอขวดไม่ได้อยู่ที่จุดตัดกระแสเพียงจุดเดียว แต่เกิดจากลูกโซ่ของสามจุดต่อกัน คือ (1) จุดบังคับเลี้ยวซ้ายปลายทางขนาน (2) จุดกลับรถบนถนนคู่ขนาน และ (3) จุดที่รถจากลูกล้อกลับรถสมทบเข้าถนนเศรษฐกิจ 1 ขาดได้ เมื่อจุดที่สามติดขัด แกวคอยจะย้อนกลับไปปิดจุดที่สองและหนึ่งตามลำดับ ด้วยเหตุนี้มาตรการที่แก้เพียงจุดเดียวจึงได้ผลจำกัด

6. แบบจำลองจราจร

6.1 โครงข่ายและเรขาคณิต

- สร้างด้วย PTV Vissim 2025 (25.00-10) ผ่าน COM ทั้งหมด ทุกค่าสมมติอยู่ในไฟล์ config เดียว ไม่มีการแก้ด้วยมือ
- ตรวจสอบทุกเส้นทางกับ OpenStreetMap (ทิศทางเดินรถ จำนวนช่อง ตำแหน่งทางเชื่อมจริง) และทดสอบเส้นทางด้วย Google Maps
- อ้างอิงพิกัดกับภาพถ่ายดาวเทียมที่ Vissim ใช้ (Mercator รัศมี 6,371,000 เมตร คูณ cos ละติจูดอ้างอิง) คลาดเคลื่อนสูงสุด 0.1 เซนติเมตร
- ยืดความยาวเส้นทางเข้าออกให้รวม 17.3 กิโลเมตร เพื่อให้แถวคอยสะสมอยู่ภายในแบบจำลอง

6.2 ความต้องการเดินทางและองค์ประกอบรถ

ปล่อยรถเข้าโครงข่าย 7 จุด รวม 13,803 คันต่อชั่วโมง แบ่งเป็น 5 ช่วงเวลา ช่วงละ 15 นาที องค์ประกอบรถ 6 ชนิด ได้แก่ รถยนต์นั่ง รถบรรทุกเล็ก รถบรรทุกหนัก รถพ่วง รถโดยสาร และรถจักรยานยนต์

6.3 พฤติกรรมการขับขี่แบบไทย

ตั้งพฤติกรรมขับขี่ 4 ชุด (ทางหลัก Wiedemann 99, ทางขนาน Wiedemann 74, รถพ่วง และรถจักรยานยนต์ที่แทรกช่องได้) และปรับเกณฑ์การยอมรับช่องว่างที่จุดตัดให้ตรงกับพฤติกรรมคนขับไทย หลังจากผู้เชี่ยวชาญพื้นที่ตรวจภาพเคลื่อนไหว แล้วพบว่าแบบจำลองเดิมให้รถรอสอดเข้าช่องนานเกินจริง

ตารางที่ 6-1 พารามิเตอร์ที่ปรับให้ตรงกับพฤติกรรมคนขับไทย

พารามิเตอร์	ค่าตั้งต้น Vissim	ค่าที่ใช้
ตัวคูณระยะปลอดภัยที่จุดตัด (SafDistFactDef)	1.50	1.00
ช่องว่างหน้า/หลังขั้นต่ำ (Front/RearGapDef)	0.50 / 0.50 วินาที	0.30 / 0.30 วินาที
การเบรกที่ยอมรับได้ของคันที่เบียด (AccDecelOwn)	-1.0 ม./วิ ²	-2.5 ถึง -3.5 ม./วิ ²
การเบรกที่คาดหวังจากคันตามหลัง (AccDecelTrail)	-1.0 ม./วิ ²	-2.5 ถึง -3.5 ม./วิ ²
เวลารอสูงสุดก่อนถูกปล่อย (DiffusTm)	60 วินาที	60 วินาที

ผลการปรับเทียบจากวิธีจริง: เวลาที่รถจอดนิ่งรอสอดเข้าช่อง (ค่ามัธยฐาน) ลดจาก 11.8 วินาที เหลือ 9.4 วินาที และสัดส่วนรถที่ต้องรอเกิน 10 วินาที ลดจากร้อยละ 54 เหลือร้อยละ 31 ซึ่งสอดคล้องกับการสังเกตพฤติกรรมจริง

6.4 การตรวจความสมเหตุสมผล

- ตรวจไฟลัวิธรีททั้ง 90 ไฟล์ด้วยเครื่องมืออัตโนมัติ (หัวตาราง ความต่อเนื่องของเวลา และความซ้ำของข้อมูล) ผ่านทั้งหมด
- ตรวจทิศทางของทางเชื่อมทุกเส้นโดยอัตโนมัติ หลังพบข้อบกพร่องที่ทางเชื่อมหนึ่งเส้นวางทิศย้อนทาง
- ความเร็วบนทางหลักขาเข้าที่ไม่ได้รับผลกระทบคงที่ทุกสถานการณ์ (71.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) เป็นการยืนยันว่าผลต่างที่วัดได้มาจากมาตรการ ไม่ใช่ความแปรปรวนของแบบจำลอง

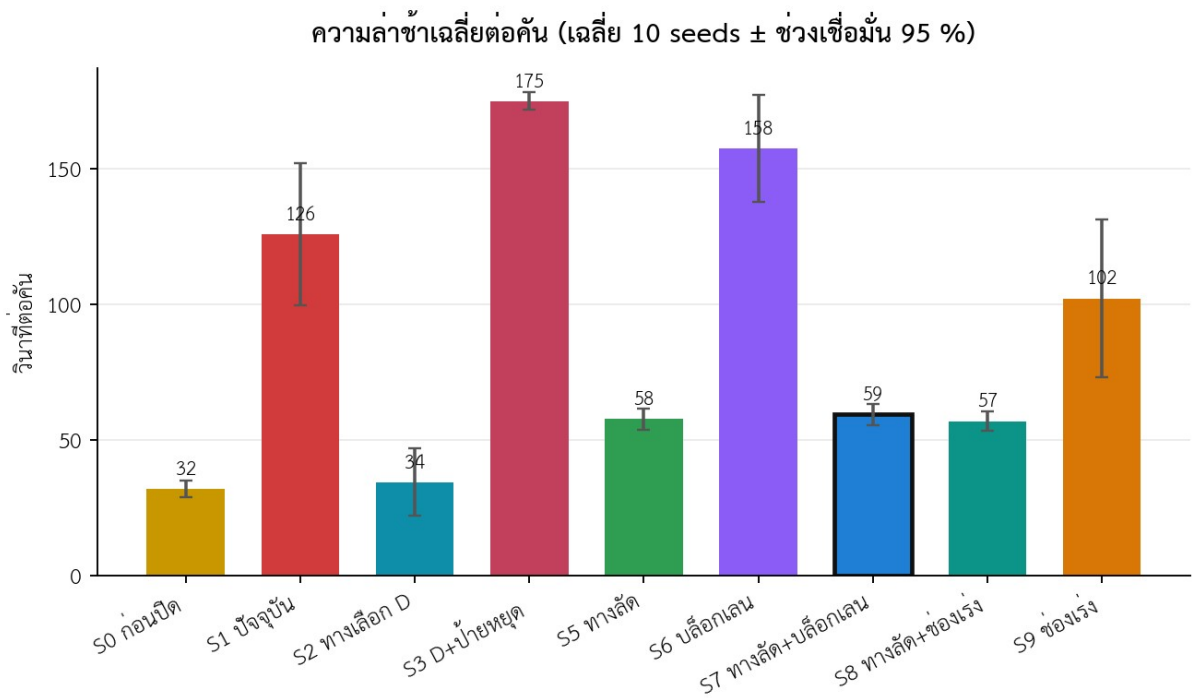
ข้อจำกัดสำคัญ: ยังไม่ได้ปรับเทียบด้วยข้อมูลนับปริมาณและความเร็วในสนามของช่วงเวลาเดียวกัน ผลจึงเหมาะกับการเปรียบเทียบทางเลือกมากกว่าการพยากรณ์ค่าสัมบูรณ์

7. ผลการจำลองและการเปรียบเทียบทางเลือก

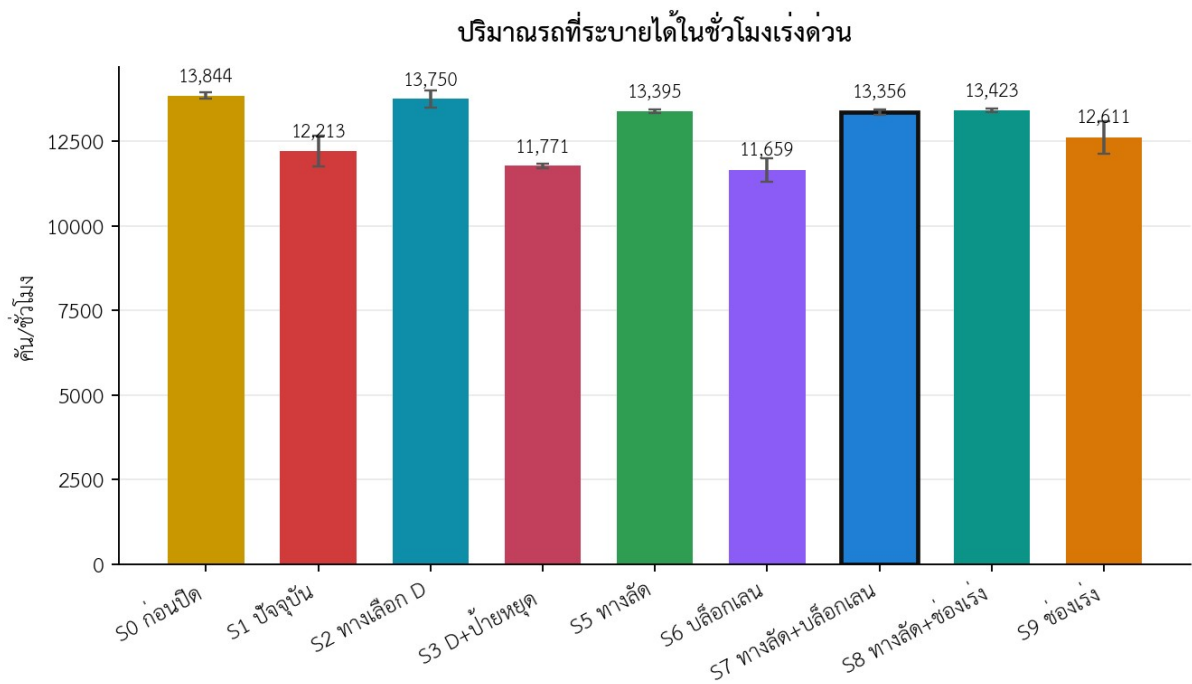
7.1 ตัวชี้วัดด้านการจราจร

ตารางที่ 7-1 ตัวชี้วัดด้านการจราจร (ค่าเฉลี่ย 10 seeds)

ตัวชี้วัด	S0	S1	S2	S3	S5	S6	S7	S8	S9
รถถึงปลายทาง (คัน/ชม.)	13,844	12,213	13,750	11,771	13,395	11,659	13,356	13,423	12,611
ความล่าช้าเฉลี่ย (วินาที/คัน)	32.0	125.9	34.4	175.1	57.7	157.6	59.4	57.0	102.3
ความเร็วเฉลี่ยโครงข่าย (กม./ชม.)	49.7	33.0	49.9	25.5	42.6	29.2	42.1	42.7	36.3
อุปสงค์ที่เข้าโครงข่ายไม่ได้ (คัน)	2	396	13	696	175	634	205	173	308
เวลาเดินทาง OD-a (วินาที)	298	419	279	1,600	392	410	393	389	379
เวลาเดินทาง OD-b (วินาที)	44	94	98	797	45	138	46	45	55



รูปที่ 7-1 ความล่าช้าเฉลี่ยต่อคัน พร้อมช่วงเชื่อมั่น 95 %



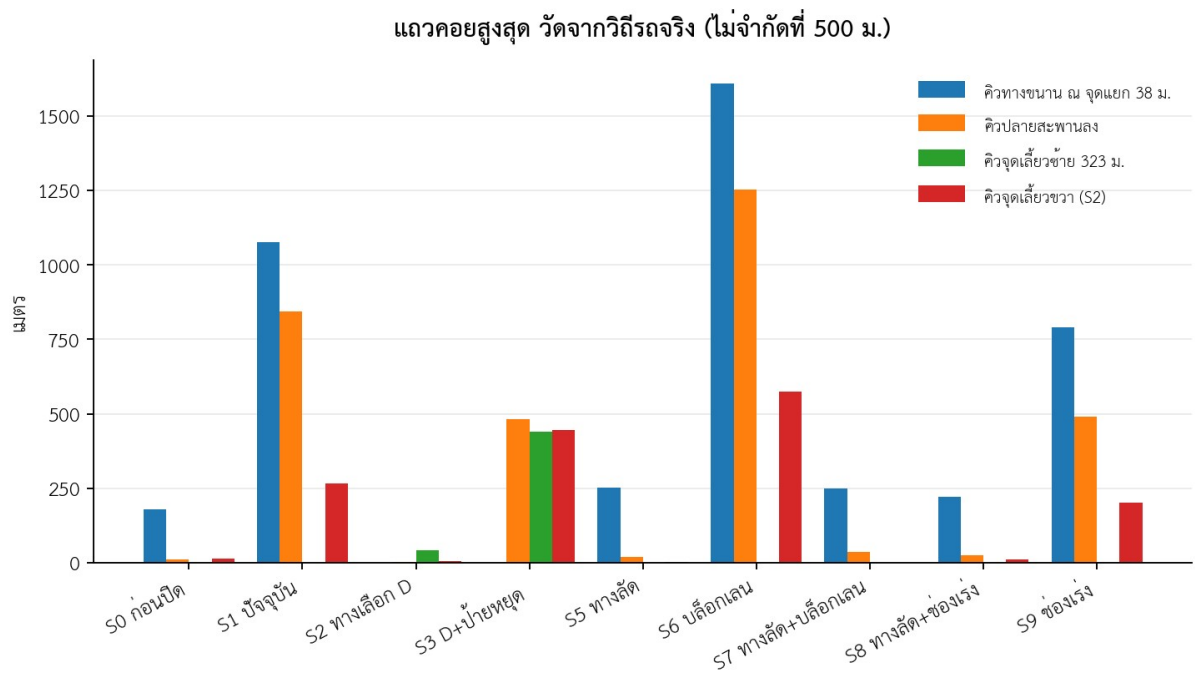
รูปที่ 7-2 ปริมาณรถที่ระบายได้ในชั่วโมงเร่งด่วน

7.2 แถวคอย

เครื่องมือวัดแวกคอยมาตรฐานของ Vissim จำกัดความยาวไว้ที่ 500 เมตร ซึ่งทำให้ทุกสถานการณ์ที่ติดขัดรายงานค่าเท่ากัน คณะผู้จัดทำจึงสร้างการวัดแวกคอยขึ้นใหม่จากวิถีรถจริงด้วยนิยามเดียวกัน แต่ไม่จำกัดความยาว และสามารถไต่ย้อนข้ามทางเชื่อมได้

ตารางที่ 7-2 แวกคอยสูงสุดวัดจากวิถีรถจริง (เมตร)

จุดวัด	S0	S1	S2	S3	S5	S6	S7	S8	S9
คิวทางขนาน ณ จุดแยก 38 ม.	180	1,077	0	0	252	1,608	249	222	791
คิวปลายสะพานลง	10	842	2	483	18	1,252	35	25	489
คิวจุดเลี้ยวซ้าย 323 ม.	0	0	41	439	0	0	0	0	0
คิวจุดเลี้ยวขวา (S2)	14	267	4	447	2	575	0	12	201



รูปที่ 7-3 แวกคอยสูงสุดรายจุดวัด

7.3 ความปลอดภัย (ตัวชี้วัดทดแทนตามมาตรฐาน FHWA SSAM)

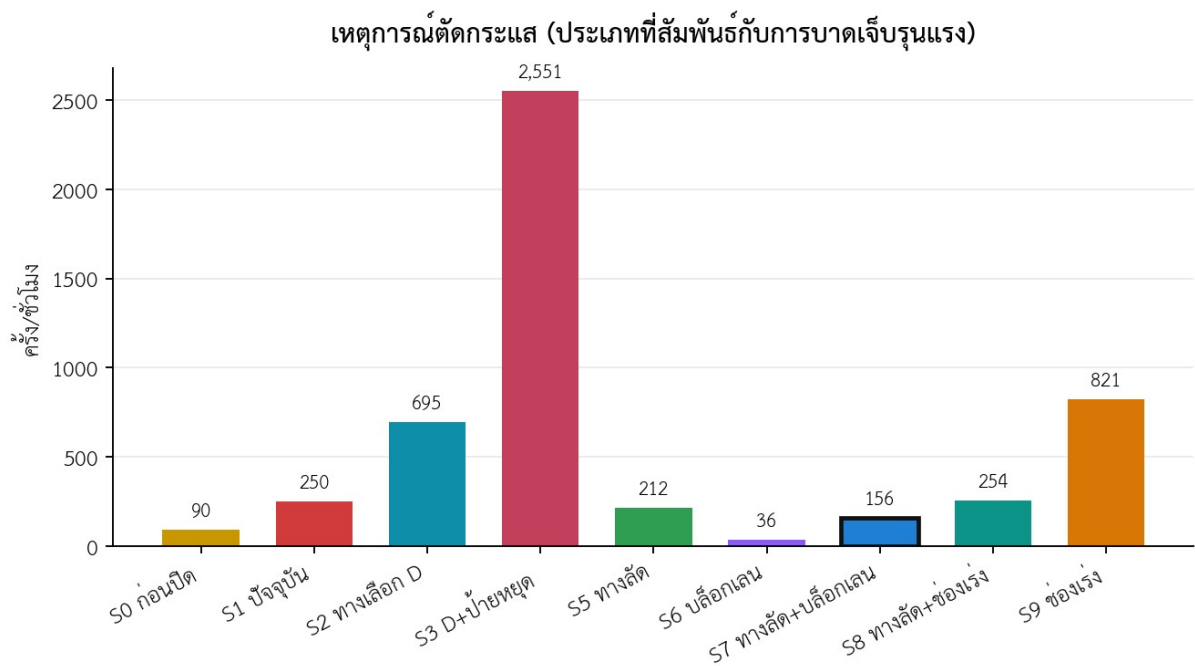
ใช้ตัวชี้วัดทดแทนตามนิยาม FHWA SSAM โดยนับเหตุการณ์ที่เวลาถึงจุดชน (TTC) ไม่เกิน 1.5 วินาที และคำนวณเวลาผ่านจุดเดียวกัน (PET) เกณฑ์ 5.0

วินาที จำแนกประเภทตามมุมระหว่างทิศทาง (ชนท้ายน้อยกว่า 30 องศา ตัดกระแสมากกว่า 85 องศา) ในรัศมี 400 เมตรรอบจุดตัด

ต้องอ่านตัวเลขเป็น 3 ชั้น เพราะในภาวะรถติดหนัก รถที่คลานในแถวคอยทำให้ TTC ต่ำกว่าเกณฑ์แทบทุกคู่ ทั้งที่ความเร็วต่ำมากและไม่ได้สะท้อนความเสี่ยงจริง ชั้นที่ใช้ตัดสินคือชั้นกรองแถวคอยและประเภทของเหตุการณ์

ตารางที่ 7-3 ตัวชี้วัดความปลอดภัย (ค่าเฉลี่ย 10 seeds)

ตัวชี้วัด	S0	S1	S2	S3	S5	S6	S7	S8	S9
conflict ต่อ ชั่วโมง	5,767.4	5,546.5	6,258.6	32,038.6	5,389.2	1,952.5	6,146.9	6,457.9	7,054.7
conflict กรองแถว คอยแล้ว ต่อ ชั่วโมง	5,085.4	4,716.7	5,875.5	19,328.1	4,201.6	1,550.2	4,775.6	5,060.2	5,952.4
conflict รุนแรงต่อ ชั่วโมง	3,840.2	3,802.9	4,899.3	11,775.0	2,766.6	1,119.1	2,970.8	3,230.2	4,667.5
ชนท้าย/ชม.	4,957	4,805	4,252	26,136	4,687	1,672	5,430	5,660	5,216
ตัดกระแส/ชม.	90	250	695	2,551	212	36	156	254	821
เปลี่ยนช่อง-รวม กระแส/ชม.	716	488	1,308	3,330	486	244	557	539	1,013
DeltaS เฉลี่ย (กม./ชม.)	22	26	26	20	18	23	18	19	25



รูปที่ 7-4 เหตุการณ์ตัดกระแส ซึ่งเป็นประเภทที่สัมพันธ์กับการบาดเจ็บรุนแรง

การเปรียบเทียบเป็นอุบัติเหตุต่อปี: ใช้ข้อมูลจริง 6.2 ครั้งต่อปีของสภาพปัจจุบันเป็นฐาน ได้อัตราแปลงประมาณ 2.2×10^{-6} อุบัติเหตุต่อหนึ่งเหตุการณ์เกือบชน ซึ่งต่ำกว่าช่วงในวรรณกรรมต่างประเทศ ($1e-05$ – $5e-05$) ประมาณ 4–22 เท่า สะท้อนว่าเหตุการณ์ส่วนใหญ่ในพื้นที่นี้เกิดที่ความเร็วต่ำ ตัวเลขอุบัติเหตุคาดการณ์จึงใช้เปรียบเทียบทางเลือกได้ แต่ไม่ควรใช้เป็นการพยากรณ์จำนวนอุบัติเหตุ

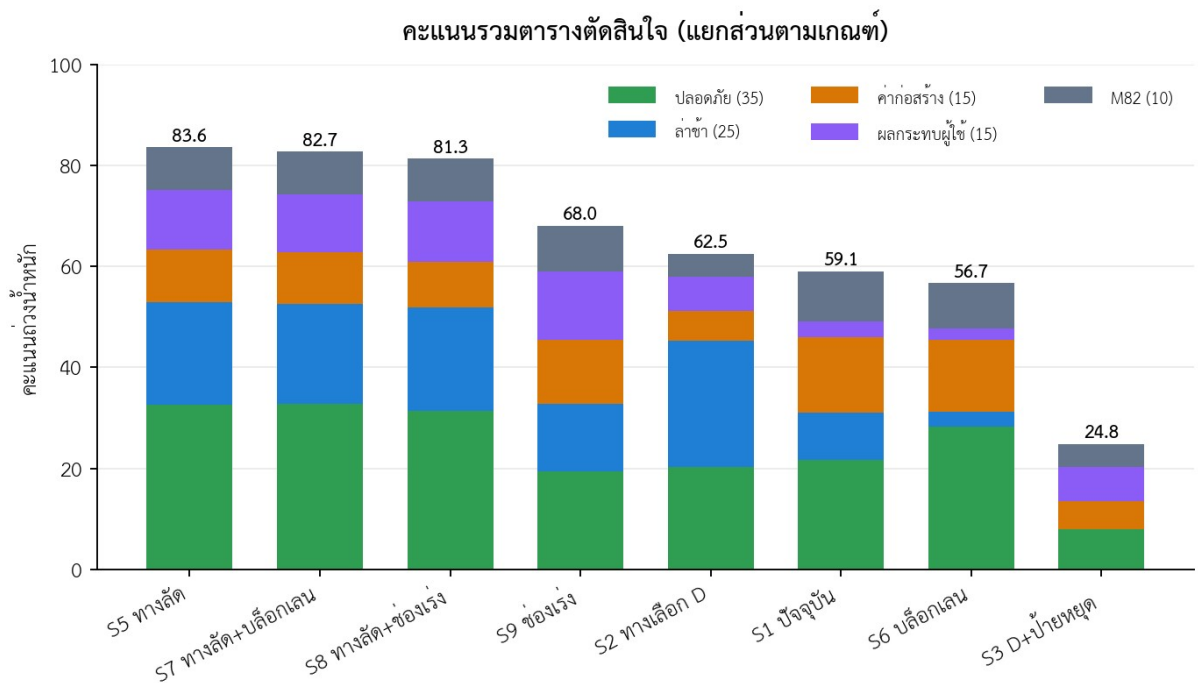
7.4 ตารางตัดสินใจ

ถ่วงน้ำหนักตามที่กำหนดไว้: ความปลอดภัย 35 ความล่าช้า 25 ค่าก่อสร้าง 15 ผลกระทบผู้ใช้ทางกลุ่มที่เสียประโยชน์ 15 และความเข้ากันได้กับโครงการ M82

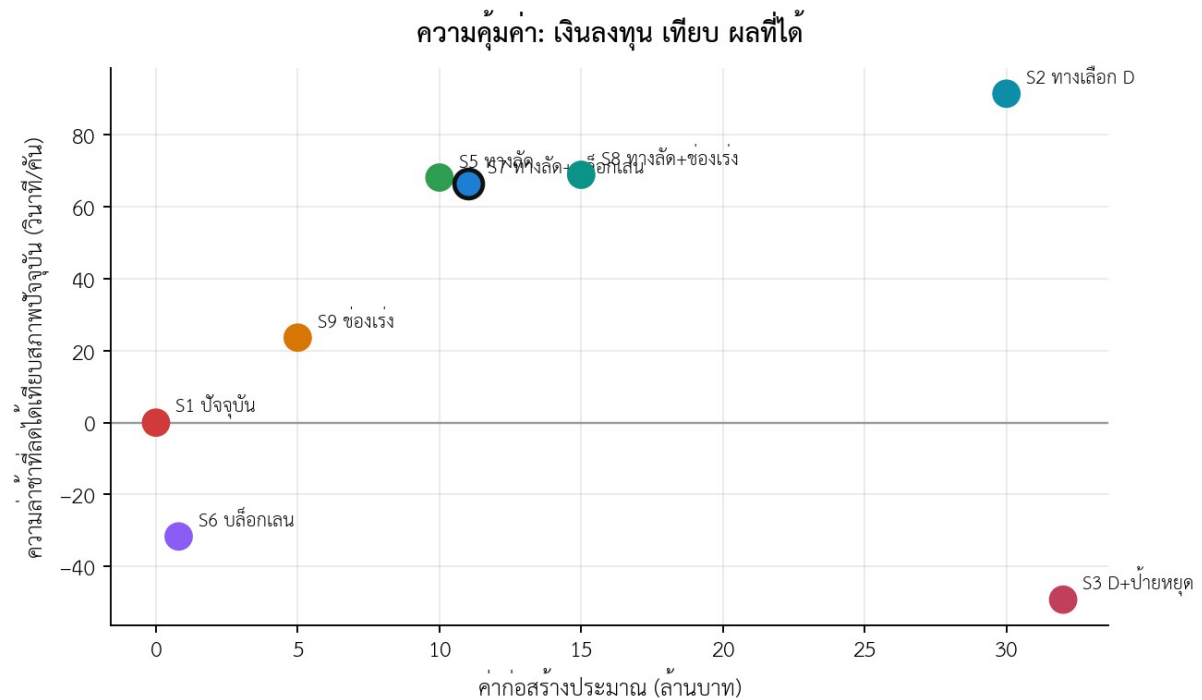
10 สองเกณฑ์แรกคำนวณจากผลจำลอง อีกสามเกณฑ์เป็นดุลพินิจเชิงวิศวกรรมที่ระบุสมมติฐานไว้ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 7-4 คะแนนตารางตัดสินใจ (100 = ดีที่สุดในกลุ่มที่เปรียบเทียบ)

เกณฑ์ (น้ำหนัก)	S5	S7	S8	S9	S2	S1	S6	S3
ความปลอดภัย (35)	93	94	90	56	58	62	81	22
ความล่าช้า (25)	81	79	82	53	100	38	11	0
ค่าก่อสร้าง (15)	70	68	60	85	40	100	95	38
ผลกระทบผู้ใช้ (15)	78	76	80	90	45	20	15	45
เข้ากับ M82 (10)	85	85	85	90	45	100	90	45
คะแนนรวม	83.6	82.7	81.3	68.0	62.5	59.1	56.7	24.8



รูปที่ 7-5 คะแนนรวมแยกส่วนตามเกณฑ์



รูปที่ 7-6 ความคุ้มค่า: เงินลงทุนเทียบกับความล่าช้าที่ลดได้

ผลการจัดอันดับ: $S5 (83.6) > S7 (82.7) > S8 (81.3) > S9 (68.0)$ โดยสามอันดับแรกต่างกันไม่ถึง 3 คะแนน จึงถือว่าเทียบเท่ากันในทางปฏิบัติ

การเลือก S7 จึงตัดสินใจด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัยซึ่งมีน้ำหนักสูงสุด

7.5 ผลการทดสอบทางสถิติ

เปรียบเทียบรายคู่แบบจับคู่ตาม seed เดียวกัน ซึ่งหักล้างความแปรปรวนจากการสุ่มออกไป ผลที่สำคัญ

ตารางที่ 7-5 ผลการทดสอบ **paired t-test** คู่ที่สำคัญ

คู่เปรียบเทียบ	ตัวชี้วัด	ค่า A	ค่า B	ผลต่าง	นัยสำคัญ
----------------	-----------	-------	-------	--------	----------

ผลสำคัญเพิ่มเติม: เหตุการณ์ดัดกระแสของ S7 ต่ำกว่า S5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ลดลงประมาณร้อยละ 26, $p < 0.05$) ซึ่งเป็นเหตุผลหลักที่เลือก S7 แทน S5

8. ทางเลือกที่เสนอ (S7) และแบบเบื้องต้น

8.1 องค์ประกอบของทางเลือก

มาตรการที่ 1 — ทางลัดเลี้ยวขวาตัดใหม่ผ่านเกาะกลางถนนเศรษฐกิจ 1

- ตัดเกาะกลางถนนเศรษฐกิจ 1 เปิดช่องเลี้ยวขวา 1 ช่องจราจร กว้าง 3.50 เมตร ความยาวช่วงตัดประมาณ 79 เมตร
- เชื่อมจากถนนคู่ขนานเข้าสู่ถนนเศรษฐกิจ 1 ขาใต้ ที่ระยะประมาณ 387 เมตรจากจุดตัดหลัก
- จัดให้มีช่องรอเลี้ยว (storage) ความยาวไม่น้อยกว่า 60 เมตร ตามปริมาณที่จำลองได้
- ผลโดยตรง: รถที่เดิมต้องวนกลับรถ 211 เมตร เลี้ยวขวาได้ทันที แกวคยที่จุดกลับรถลดจาก 267 เมตร เหลือ 0 เมตร

มาตรการที่ 2 — ตีเส้นทแยงบล็อกช่องจราจรก่อนจุดที่รถจากลูกล้อรถกลับรถสมทบ

- ตีเส้นทแยง (hatching) ปิดการใช้งานช่องจราจรริมซ้ายของถนนเศรษฐกิจ 1 ขาใต้ ตั้งแต่จุดตัดหลัก จนถึงจุดที่รถจากลูกล้อรถกลับรถเข้าสมทบ ระยะประมาณ 74 เมตร
- ผลคือรถจากลูกล้อได้ช่องจราจรเฉพาะ ไม่ต้องเบียดเข้ากระแสหลักอย่างกะทันหัน
- ผลเชิงปริมาณ: เหตุการณ์ตัดกระแสลดจาก 212 เหลือ 156 ครั้งต่อชั่วโมง (ลดลงร้อยละ 26 อย่างมีนัยสำคัญ) โดยความล่าช้าเพิ่มขึ้นเพียง 1.7 วินาทีต่อคัน



รูปที่ 8-1 ทางลัดเลี้ยวขวาตัดใหม่ในแบบจำลอง (S7)

ตารางเมตร)		
งานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต	เหมารวม	0.60
งานคันหินและปรับรูปเกาะกลางใหม่	เหมารวม	0.90
งานระบบระบายน้ำและบ่อพัก	เหมารวม	1.20
งานไฟฟ้าแสงสว่างบริเวณจุดตัด	เหมารวม	1.40
งานป้ายจราจรและเครื่องหมายจราจร รวมเส้นทแยง บล็อกช่องจราจร	เหมารวม	1.10
อุปกรณ์อำนวยความสะดวก (การ์ดเรล หลัคนำทาง ตัวสะท้อนแสง)	เหมารวม	0.90
งานจราจรระหว่างก่อสร้างและป้ายเตือน	เหมารวม	0.70
รวมค่างานโดยตรง		8.50
ค่าอำนวยการ กำไร และค่าเผื่อ (25 %)		2.12
รวมทั้งสิ้น (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่มและค่าเวนคืน)		10.62

หมายเหตุ: เป็นการประมาณระดับเบื้องต้น (order of magnitude) จากปริมาณงานหลัก ยังไม่รวมค่าเวนคืน งานรื้อย้ายสาธารณูปโภค และภาษีมูลค่าเพิ่ม ต้องจัดทำประมาณราคาตามราคากลางกรมทางหลวงในชั้นออกแบบรายละเอียด

8.4 แผนดำเนินการ

ตารางที่ 8-3 แผนดำเนินการ

ขั้นตอน	ระยะเวลา	สาระสำคัญ
1. สำรวจและเปรียบเทียบ	เดือนที่ 1–2	นับปริมาณจราจรจริง 7 วัน วัดความเร็วและความยาวแถวคอย แล้วเปรียบเทียบแบบจำลองซ้ำ
2. ออกแบบรายละเอียด	เดือนที่ 2–4	ออกแบบเรขาคณิต 6 จุด ตรวจเขตทาง ประสานตำแหน่งเสาและพื้นที่ก่อสร้างโครงการ M82
3. จัดซื้อจัดจ้าง	เดือนที่ 4–6	จัดทำราคากลาง ประกาศประกวดราคา ลงนามสัญญา
4. ก่อสร้าง	เดือนที่ 6–9	งานเกาะกลาง ผิวทาง ระบายน้ำ ไฟฟ้า ป้ายและเส้นจราจร
5. ติดตามผล	เดือนที่ 9–21	เก็บข้อมูลปริมาณ ความเร็ว และอุบัติเหตุที่ 3 / 6 / 12 เดือน เทียบกับค่าที่จำลองไว้

8.5 การสื่อสารกับผู้ร้องเรียนและผู้ใช้งาน

- อธิบายว่าการปิดจุดตัดเดิมมีเหตุผลด้านความปลอดภัยที่ชัดเจน และมาตรการใหม่ไม่ได้เปิดจุดตัดเดิมกลับคืน แต่สร้างเส้นทางใหม่ที่ปลอดภัยกว่า

- สื่อสารผลที่ผู้ใช้งานจะได้รับเป็นตัวเลขที่เข้าใจง่าย: ไม่ต้องวนกลับรถ 211 เมตรอีกต่อไป และเวลาเดินทางเฉลี่ยลดลงประมาณ 66 วินาทีต่อคัน
- แจกแผนก่อสร้างล่วงหน้าอย่างน้อย 2 สัปดาห์ พร้อมแผนผังการเบี่ยงจราจรระหว่างก่อสร้าง
- เปิดเผยแพร่เว็บผลการจำลองให้ผู้ใช้งานเข้าดูภาพเคลื่อนไหวของการจราจรแต่ละทางเลือกได้ด้วยตนเอง

9. ข้อจำกัดและงานที่ต้องดำเนินการต่อ

- ยังไม่ได้ปรับเทียบแบบจำลองด้วยข้อมูลนับปริมาณและความเร็วในสนามของช่วงเวลาเดียวกัน ปริมาณจราจรมาจากค่า AADT ปีฐานแปลงด้วยตัวประกอบมาตรฐาน
- ข้อมูลอุบัติเหตุมีถึงปี 2565 และอาจคาบเกี่ยวช่วงก่อน-หลังติดตั้งแบรีเออร์ จึงยังไม่สามารถประเมินผลของแบรีเออร์จากสถิติจริงได้
- อัตราแปลงเหตุการณ์เกือบชนเป็นอุบัติเหตุเป็นการประมาณที่ปรับเทียบกับข้อมูลของพื้นที่นี้เท่านั้น ใช้เปรียบเทียบทางเลือกได้ แต่ไม่ใช่การพยากรณ์จำนวนอุบัติเหตุ
- ค่าก่อสร้างเป็นการประมาณเบื้องต้น ต้องจัดทำตามราคากลางในชั้นออกแบบรายละเอียด
- คะแนนความเข้ากันได้กับโครงการ M82 ประเมินจากตำแหน่งงานเทียบแนวโครงสร้าง ต้องตรวจสอบกับแบบก่อสร้างจริง
- ยังไม่ได้ทดสอบมาตรการควบคุมด้วยสัญญาณไฟ เนื่องจากต้องใช้ไฟล์ควบคุมภายนอกของ Vissim อย่างไรก็ตาม การคำนวณความจุชี้ว่าปริมาณที่จุดดังกล่าวสูงเกินกว่าจะใช้การควบคุมแบบหยดรอได้
- ภาพเคลื่อนไหวบนหน้าเว็บแสดงผลของ seed เดียว ขณะที่ตัวเลขทุกตารางเป็นค่าเฉลี่ย 10 seeds

ภาคผนวก ก — สมมติฐานหลัก

ตารางที่ ก-1 สมมติฐานหลักที่ใช้ในแบบจำลอง

หัวข้อ	ค่าที่ใช้	ที่มา
ตัวประกอบชั่วโมงเร่งด่วน K	0.08	ค่ามาตรฐานงานวิเคราะห์จราจร
ตัวประกอบทิศทาง D	0.55	ค่ามาตรฐานงานวิเคราะห์จราจร
ความกว้างช่องจราจร	3.5 ม.	ROADNET
เวลาจำลองต่อรอบ	4,500 วินาที	กำหนดโดยผู้ศึกษา
จำนวน seeds	10 (42–51)	กำหนดโดยผู้ศึกษา
เกณฑ์ TTC	1.5 วินาที	FHWA SSAM
เกณฑ์ PET	5.0 วินาที	FHWA SSAM
เกณฑ์กรองแถวคอย	ความเร็วสูงสุดของคู่ ≥ 10.0 กม./ชม.	กำหนดโดยผู้ศึกษา
อุบัติเหตุนิจที่ผู้ใช้เปรียบเทียบ	6.2 ครั้ง/ปี	v_accase 2561–2565 รศมี 400 ม.

สมมติฐานทั้งหมดถูกเก็บไว้ในไฟล์ config/assumptions.yaml ไฟล์เดียว และไม่มีข้อกำหนดค่าคงที่ในโปรแกรม ทำให้ทุกตัวเลขในรายงานนี้ตรวจสอบย้อนกลับได้

สมมติฐานของคะแนนดุลพินิจในตารางตัดสินใจ

- ค่าก่อสร้างเป็นการประมาณระดับ order-of-magnitude (ล้านบาท) จากปริมาณงานผิวทาง/เกาะกลาง/ป้าย-เส้น ยังไม่รวมเวนคืนและงานระบบ
- คะแนนผลกระทบผู้ใช้พิจารณาจากกลุ่มที่เดินทางไกลขึ้นหรือช้าลงในผลจำลอง (เช่น OD-b ของ S2/S3)
- คะแนนความเข้ากันได้กับ M82 พิจารณาจากตำแหน่งงานเทียบแนว M82 ที่คร่อม ทล.35 — มาตรการที่อยู่บน ทล.3091 ได้คะแนนสูง ส่วนมาตรการที่แตะจุดเบียดบนทางขนาน ทล.35 ได้คะแนนต่ำ ต้องตรวจกับแบบ M82 จริง

ภาคผนวก ข — ผลรายละเอียดและไฟล์ข้อมูล

ตารางที่ ข-1 ไฟล์ผลลัพธ์ประกอบรายงาน

ไฟล์	เนื้อหา
results/kpi_summary.csv	ตัวชี้วัดจราจรทุกตัว ทุกสถานการณ์ พร้อมช่วงเชื่อมั่น
results/safety_summary.csv	ตัวชี้วัดความปลอดภัยสรุปรายสถานการณ์
results/safety_per_seed.csv	ผลความปลอดภัยราย seed (90 รอบ)
results/queue_fzp.csv	แถวคอยที่วัดจากวิถีรถจริง ราย seed
results/decision_matrix.csv	ตารางตัดสินใจพร้อมคะแนนดิบ
results/conflicts_<สถานการณ์>_seed42.csv	ตำแหน่งและคุณสมบัติของเหตุการณ์เกือบชนทุกครั้ง
web (เว็บรายงาน)	ภาพเคลื่อนไหวการจราจรจากวิถีรถจริง เปรียบเทียบได้ทุกสถานการณ์

หน้าเว็บรายงาน: <https://rama2-traffic35.siwa-civil.workers.dev>

ภาคผนวก ค — บันทึกการปรับเทียบพฤติกรรมแบบจำลอง

บันทึกการเปลี่ยนพารามิเตอร์ทุกครั้งถูกเก็บอัตโนมัติไว้ที่ `logs/calibration_log.md` สำคัญของการปรับเทียบครั้งล่าสุดมีดังนี้

7. ผู้เชี่ยวชาญพื้นที่ตรวจภาพเคลื่อนไหวแล้วชี้ว่ารถในแบบจำลองจอดนิ่งรอจอดเข้าช่องนานเกินจริง
8. วัดจากวิถีรถจริง: ร้อยละ 78 ของรถจอดนิ่งก่อนจุดเบียด ค่ามัธยฐาน 11.8 วินาที สูงสุด 34 วินาที
9. ตรวจพบว่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมอาการนี้คือเกณฑ์ยอมรับช่องว่างที่จุดตัด ไม่ใช่พารามิเตอร์การเปลี่ยนช่องจราจร
10. ปรับค่าตามตารางที่ 6-1 แล้ววัดซ้ำ ค่ามัธยฐานลดเหลือ 9.4 วินาที และสัดส่วนที่รอเกิน 10 วินาที ลดจากร้อยละ 54 เหลือร้อยละ 31
11. ทดลองอนุญาตให้รถทางรองแทรกจนขวางกระแสหลัก แล้วเกิดการล่อค้ายทั้งทางแยก ความล่าช้าเพิ่มจาก 28 เป็น 57 วินาทีต่อคัน จึงไม่ใช่ค่าดังกล่าว

ภาคผนวก ง — วิธีคำนวณตัวชี้วัดความปลอดภัย

- อ่านวิถีรถทุกคันทุก 0.2 วินาทีจากไฟล์ผลของ Vissim ในรัศมี 400 เมตรรอบจุดตัด เฉพาะช่วง 15 นาทีที่หนาแน่นที่สุด
- คัดกรองคู่รถด้วยระยะห่าง ความต่างระดับ และความเร็ว ก่อนคำนวณเวลาถึงจุดชนจริง เพื่อให้ประมวลผลข้อมูลกว่าสองล้านแถวต่อรอบได้ในเวลาที่ยอมรับได้
- แยกการคำนวณสองแบบ: คู่ที่วิ่งตามกันใช้เวลาถึงจุดชนตามแนวเส้นทาง ส่วนคู่ที่ตัดกัน ใช้การฉายรูปสี่เหลี่ยมของตัวรถไปข้างหน้าตามเวลาแล้วตรวจการทับซ้อน
- ตัดคู่ที่อยู่ต่างระดับกัน (สะพานข้ามทางแยก) ออกเสมอ เพราะเครื่องมือมาตรฐานทำงานสองมิติ และจะนับคู่ที่ไม่ได้อยู่ระนาบเดียวกันผิดพลาด ในพื้นที่นี้คิดเป็นประมาณร้อยละ 37 ของคู่ที่เข้าใกล้กัน
- คำนวณเวลาผ่านจุดเดียวกัน (PET) ด้วยตารางเซลล์ขนาด 2 เมตร แยกชั้นตามระดับความสูง
- หักหัวรถคำนวณจากการเคลื่อนที่จริงของจุดหนารถ ไม่ใช่พิกัดท้ายรถที่โปรแกรมรายงาน เพราะที่รอยต่อถนนค่าดังกล่าวคลาดเคลื่อนได้ถึง 176 องศา
- เก็บไฟล์วิถีรถของ seed แรกในรูปแบบที่เปิดด้วยโปรแกรม SSAM ได้ เพื่อการตรวจสอบซ้ำโดยบุคคลที่สาม

ภาคผนวก จ — ที่มาข้อมูลและเครื่องมือ

ตารางที่ จ-1 ที่มาข้อมูลและเครื่องมือ

รายการ	แหล่งที่มา
ปริมาณจราจร ขนาดทาง เขตทาง	ชั้นข้อมูล ROADNET กรมทางหลวง
ข้อมูลอุบัติเหตุ	ชั้นข้อมูล v_accase ปี 2561-2565
เรขาคณิตถนนและทิศทางเดินรถ	OpenStreetMap ตรวจสอบกับภาพถ่ายดาวเทียมและ Street View
ภาพถ่ายดาวเทียมพื้นหลัง	Microsoft Bing Maps (Maxar, Airbus DS)
โปรแกรมจำลอง	PTV Vissim 2025 (25.00-10) ควบคุมผ่าน COM

ตัวชี้วัดความปลอดภัย	นิตยตาม FHWA SSAM (FHWA-HRT-08-051)
----------------------	-------------------------------------