หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อแนะ

7.1 สรุปผลการใช้ ซี ยู ทราฟฟิค ซิมูเลชั่น โปรแกรม

แบบจำลองการจราจรใน ซี ยู ทราฟฟิค ซิมูเลชั่น โปรแกรม เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองพฤติกรรมการจราจรของยวดยาน เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาสภาพการจราจร การจำลองพฤติกรรมของยวดยานทิศทางตรงและเลี้ยวซ้าย อาศัยแนวทางการจำลองแบบ Macroscopic แต่ในส่วนของยวดยานที่เลี้ยวขวาใช้แนวทางการจำลองแบบ Microscopic

พฤติกรรมการเคลื่อนตัวของยวดยานในทิศทางตรงและเลี้ยวซ้ายทำการจำลองการเคลื่อนตัวของยวดยานเป็นกลุ่ม ดังนั้นไม่สามารถระบุตำแหน่งของยวดยานเป็นคันๆได้ แต่สามารถระบุว่าในช่วงถนนช่วงย่อย (block) แต่ละช่วง มียวดยานอยู่จำนวนกี่คัน สถานะของ block แต่ละ block ในขณะเวลาใดๆ แบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

- มียวดยานจอดอยู่เต็ม block จำนวนเท่ากับ ความหนาแน่นสูงสุด (Jam Density) ความเร็วของกลุ่มยวดยานเป็นศูนย์
- จำนวนยวดยานต่ำกว่า ความหนาแน่นสูงสุด (Jam Density) แต่สูงกว่าค่าการไหลอิ่มตัว (Saturation Flow Rate) กลุ่มยวดยานใน block เพิ่งเคลื่อนที่ออกจากสภาพหยุดนิ่ง
- ปริมาณยวดยานไม่เกินค่าการไหลอิ่มตัว (Saturation Flow Rate) เคลื่อนที่ด้วยความเร็วอิสระ (Free Flow Speed)

ผลการทำงานของโปรแกรม ซี ยู ทราฟฟิค ซิมูเลชั่น ได้แก่

- ความล่าช้ารวม (Total Delay) ความล่าช้าเฉลี่ย (Average Delay) จำนวนยวดยานที่ล่าช้า (Number of Delayed Vehicle) ที่เกิดขึ้นแต่ละด้านของทางแยก และ ค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวมของทางแยก
- ความยาวคิว (Queue Length) ที่เกิดขึ้นในแต่ละด้านของทางแยก เป็นระยะทางระหว่างเส้นหยุดจนถึง block ท้ายสุดที่มีสถานะหยุดนิ่งอยู่กับที่

- ปริมาณยวดยานที่ เข้า และ ออก ทุก Link
- ตัวแปรที่ได้จากการตรวจวัดจากการจำลองอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพการจราจร ได้แก่ ปริมาณยวดยานและค่า Time Occupancy

7.2 สรุปความล่าช้าจากการทำชิมูเลชั่นเปรียบเทียบกับสูตรของ Webster

เมื่อเปรียบเทียบความล่าช้าเฉลี่ยที่ได้จากการทำชิมูเลชั่นกับผลที่ได้จากการคำนวณจากสูตรของ Webster พบว่าในกรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่ำเสมอและไม่มียวดยานตกค้างจากรอบเวลาที่ผ่านมา เมื่อองศาความอิมตัวเพิ่มขึ้นความล่าช้าเฉลี่ยที่ได้จากการทำชิมูเลชั่นมีค่าใกล้เคียงกันกับความล่าช้าเฉลี่ยที่ได้จากสูตรของ Webster ยกเว้นกรณีที่มีความยาวคิวตกค้างมาจากรอบเวลาที่ผ่านมา ความล่าช้าเฉลี่ยที่ได้จากการทำชิมูเลชั่นจะมีค่าสูงกว่าความล่าช้าเฉลี่ยที่คำนวณจากสูตร Webster มาก ส่วนกรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสุ่ม ความล่าช้าเฉลี่ยมีค่าแตกต่างจากความล่าช้าเฉลี่ยที่คำนวณจากสูตรของ Webster ไม่มากนักยกเว้นในกรณีที่มียวดยานตกค้างจากรอบเวลาที่ผ่านมาจะทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยจากการทำชิมูเลชั่นมีค่าสูงกว่าความล่าช้าเฉลี่ยที่คำนวณจากสูตรของ Webster มากแต่จะใกล้เคียงก็ต่อเมื่อยวดยานที่ตกค้างบริเวณทางแยกหมดไป

แม้ว่าค่าองศาความอิมตัวมีค่าเท่ากันก็ตาม แต่ค่าความล่าช้าเฉลี่ยจากการทำชิมูเลชั่นมีค่าไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพการจราจร ถ้าไม่มีความยาวคิวตกค้างจากรอบเวลาที่ผ่านมาค่าความล่าช้าเฉลี่ยจะไม่สูง แต่ถ้ามีคิวของยวดยานตกค้างความล่าช้าเฉลี่ยจะมีค่าสูง

ความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่ำเสมอมีค่าใกล้เคียงความล่าช้าเฉลี่ยที่ได้จากสูตรของ Webster มากกว่ากรณีที่ยวดยานเข้ามาแบบสุ่ม

7.3 สรุปแบบจำลองการประมาณค่าความยาวคิว

แบบจำลองการประมาณค่าความยาวคิวเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณค่าความยาวคิวที่เกิดขึ้นจากตัวแปรทางด้านจราจร ตัวแปรดังกล่าวสามารถตรวจวัดได้จาก detector คือ ปริมาณจราจรกับค่า Time Occupancy การสร้างแบบจำลองประมาณค่าความยาวคิวจึงสร้างได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวคิวกับตัวแปรทั้งสอง

เมื่อมีการติดตั้ง detector ตัวแปรอีกตัวหนึ่งที่สำคัญก็คือ ตำแหน่ง detector ที่

ทำการติดตั้งบน Link ดังนั้นในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคิวกับปริมาณจราจรและค่า Time Occupancy จึงทดสอบกับตำแหน่งที่ติดตั้ง detector ตำแหน่งต่างๆกัน 9 ตำแหน่ง แบบจำลองประมาณค่าความยาวคิวของ detector แต่ละตำแหน่งนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อประเมินตำแหน่ง detector ที่สามารถประมาณค่าความยาวคิวได้เหมาะสมที่สุด ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 7.1

จากผลในตารางที่ 7.1 จะเห็นว่า แบบจำลองความยาวคิวทั้งสองแบบคือ แบบที่ประมาณค่าความยาวคิวจากค่า Time Occupancy กับประมาณความยาวคิวจากค่าปริมาณจราจรที่ตรวจวัดได้ได้ตำแหน่ง detector ที่เหมาะสมใกล้เคียงกัน โดยกรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่ำเสมอมีตำแหน่งที่เหมาะสมอยู่ในระยะทางประมาณ 40 ถึง 50 เปอร์เซนต์ของความยาว Link และประมาณ 90 เปอร์เซนต์ของความยาว Link ในกรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสุ่ม

การคำนวณค่ารอบเวลาสัญญาณไฟและค่า offset สัญญาณไฟในสภาพการจราจรที่หนาแน่น มีหลักการออกแบบจากค่าความยาวคิวที่สามารถปล่อยออกจากทางแยก ความเร็วคลื่นออกตัว ความเร็วคลื่นหยุด และความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางบน Link สมมุติฐานที่สำคัญก็คือ ความเร็วต่างๆ นั้นมีค่าคงที่ ซึ่งในพฤติกรรมจริงๆ ของยวดยานนั้นไม่ได้เป็นเช่นนี้ โดยเฉพาะความเร็วของคลื่นหยุดของยวดยาน แต่เป็นเพียงหลักการเบื้องต้นเพื่อใช้ออกแบบสัญญาณไฟเพื่อควบคุมทางแยกที่มีคิวติดค้างบริเวณทางแยก จากหลักการนี้ก็สามารถประมาณค่าความยาวคิวจากแบบจำลองการประมาณค่าความยาวคิว เพื่อนำไปคำนวณค่ารอบเวลาและช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ควบคุมความยาวคิวไม่ให้เกิดการปิดกั้นการจราจรที่บริเวณทางแยกทางด้าน Upstream

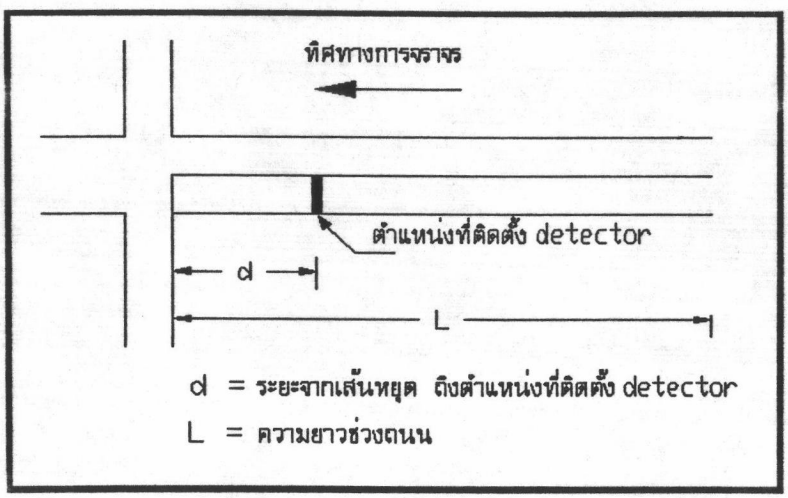
การควบคุมทางแยกสัญญาณไฟที่มีสภาพการจราจรหนาแน่นโดยวิธีการนี้มีข้อจำกัดอยู่ตรงที่ ใช้ได้กับกรณีที่ทางแยกนั้นต้องมีปริมาณยวดยานที่ต้องการผ่านทางแยกหนาแน่นเพียงด้านเดียวเท่านั้น ถ้าเกิดกรณีที่ยวดยานต้องการผ่านทางแยกมากกว่าหนึ่งด้านขึ้นไป ไม่สามารถใช้สูตรการคำนวณค่ารอบเวลาสัญญาณไฟในบทที่ 7 แล้วได้ เนื่องจากสูตรดังกล่าวมุ่งแก้ปัญหาให้กับด้านใดด้านหนึ่งของทางแยกเท่านั้น ค่ารอบเวลาสัญญาณไฟต้องคำนวณจากทางแยกวิกฤติเท่านั้น ดังนั้นในการควบคุมทางแยกที่ติดต่อกันเป็นโครงข่ายจึงต้องค้นหาทางแยกที่เป็นทางแยกวิกฤติก่อน แล้วค่อยคำนวณรอบเวลาสัญญาณไฟและค่า offset เพื่อใช้ในการประสานสัมพันธ์สัญญาณไฟ

สูตรที่ใช้ประมาณค่าความยาวคิวแบ่งเป็นสูตรที่คำนวณจากค่า Time Occupancy

ตารางที่ 7.1 สรุปตำแหน่ง detector ประมาณค่าความยาวคิวได้เหมาะสม

แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณค่าความยาวคิว	รูปแบบการเข้าสู่ทางแยกของขวดยาน	ความยาว Link L (เมตร)	ระยะ d ที่เหมาะสม (เมตร)	$\frac{d \times 100}{L}$	เกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกตำแหน่ง detector ที่เหมาะสม
ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับ Time Occupancy	แบบสม่ำเสมอ	840	329	40	ค่า R^2 ที่สูงสุด
ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับ Time Occupancy	แบบสุ่ม	840	749	90	ค่า R^2 ที่สูงสุด
แบบจำลอง Green Shield โดยใช้ปริมาณจราจร	แบบสม่ำเสมอ	840	413	50	ค่าผลรวมของผลต่างกำลังสองระหว่างความยาวคิวที่ได้จาก
แบบจำลอง Green Shield โดยใช้ปริมาณจราจร	แบบสุ่ม	840	749	90	การทำซิมูเลชั่นกับความยาวคิวที่ได้จากแบบจำลอง

หมายเหตุ ความหมายของตัวแปร แสดงในรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 รูปประกอบคำอธิบายตารางที่ 7.1

กับสูตรที่คำนวณจาก ค่าปริมาณจราจรที่ตรวจวัดได้จาก detector ดังนี้

กรณีที่ประมาณค่าความยาวคิวจากค่า Time Occupancy

$$Q = a \cdot Occ$$

โดยที่ Q = ความยาว (เมตร)

Occ = ค่า Time Occupancy มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100

a = ค่าสัมประสิทธิ์ มีค่าดังต่อไปนี้

กรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่ำเสมอและตำแหน่ง detector ห่างจากทางแยกประมาณ 329 เมตร ค่า a เท่ากับ 22.37

กรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสุ่มและตำแหน่ง detector ห่างจากทางแยกประมาณ 749 เมตร ค่า a เท่ากับ 29.58

กรณีที่ประมาณค่าความยาวคิวที่คำนวณจากปริมาณจราจรที่ตรวจวัดได้

$$Q_A = t_R \cdot q_m \cdot F_A / K_j$$

$$Q_B = t_R \cdot q_m \cdot F_B / K_j$$

โดยที่ Q_A = ความยาวคิว เมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟแดง (เมตร)

Q_B = ความยาวคิวสูงสุดที่เกิดขึ้น (เมตร)

t_R = ช่วงเวลาสัญญาณไฟแดงที่ได้รับ (เมตร)

q_m = ความจุของถนนเท่ากับ 1800 คัน/ชั่วโมง

$$F_A = \frac{2P}{1 + \sqrt{1-P}}$$

$$F_B = \frac{4F_A}{4 - F_A}$$

K_j = ความหนาแน่นสูงสุด (Jam Density) เท่ากับ 0.143 คัน/เมตร หรือ 143 คันต่อกิโลเมตร

$P = q_A/q_m$

q_A = ปริมาณจราจรที่ตรวจวัดได้ (หน่วย คัน/วินาที)

กรณียวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่ำเสมอติดตั้ง detector ผ่านจากทางแยก เท่ากับ 413 เมตรยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสุ่มติดตั้ง detector ผ่านจากทางแยก เท่ากับ 749 เมตร

7.4 <u>สรุปผลการทดสอบ ซี ยู ทราฟฟิค ซิมูลเชั่น โปรแกรม กับทางแยกที่ติดต่อเป็นโครงข่าย</u>

ทางแยกที่ใช้ในการจำลองเป็นทางแยกที่อยู่บนถนนพระรามที่ 1 ถนนเพลินจิต รวม 4 ทางแยกได้แก่ทางแยก ถนนพระรามที่ 1/ถนนบรรทัดทอง ถนนพระรามที่ 1/ถนนพญาไท ถนนพระรามที่ 1/ถนนอังรีดูนังต์ และถนนพระรามที่ 1/ถนนราชดำริ และถนนราชดำริ และถนนเพลินจิต โดยทำซิมูเลชั่นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่ายนำมาจากการทำ Traffic Assignment

โครงข่ายที่จำลอง ทำการจำลองแต่ละถนนที่มียวดยานทั่วไปเท่านั้น ไม่ได้ทำการจำลองช่วงถนนในทิศทางที่จัดเป็นช่องทางเดินรถประจำทางโดยเฉพาะ

ผลจากการทำซิมูเลชั่น ได้ปริมาณจราจรที่เข้า-ออก แต่ละ Link ความยาวคิวที่เกิดขึ้นแต่ละด้านของทางแยก และความล่าช้าที่เกิดขึ้นแต่ละด้านของทางแยก

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณจราจรที่ได้จากการทำซิมูเลชั่นกับปริมาณจราจรที่ได้จากการทำ Traffic Assignment จะเห็นว่าปริมาณจราจรที่ได้จากการทำซิมูเลชั่น จะต่ำกว่าหรือเท่ากับปริมาณจราจรจากการทำ Traffic Assginment เสมอที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากผลของการจำลองสัญญาณไฟ ซึ่งไม่มีในการทำ Traffic Assignment และผลกระทบจากความยาวคิวที่เกิดขึ้น

เมื่อพิจารณาความยาวคิวที่เกิดขึ้นจะพบว่ามีบาง Link ที่มีปริมาณจราจรที่ต้องการผ่านทางแยกสูงจะเกิดคิวยาวเท่ากับความยาว Link ส่วนใหญ่เป็น Input Link

ความล่าช้าที่เกิดขึ้นบริเวณทางแยก ได้แก่ ความล่าช้ารวม (Total delay) ที่เกิดขึ้นในแต่ละด้านของทางแยก และความล่าช้าเฉลี่ยแต่ละด้านของทางแยก เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสม่ำเสมอกับกรณีที่ยวดยานเข้าสู่ทางแยกแบบสุ่ม

พบว่า ค่าความล่าช้ารวมและความล่าช้าเฉลี่ยในแต่ละ Link มีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นบาง Link เท่านั้นที่มีค่าแตกต่างกันมาก

7.5 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาปรับปรุง ซี ยู ทราฟฟิค ซิมูเลชั่น โปรแกรม

ในอนาคตควรปรับปรุงการทำงานของโปรแกรมเพื่อเพิ่มขีดความสามารถ และความยืดหยุ่นให้นำไปใช้จำลองการจราจรบริเวณทางแยกสัญญาณไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ สิ่งที่ควรปรับปรุงมีดังนี้

- ปรับปรุงขีดความสามารถให้สามารถทำการจำลองพฤติกรรมยวดยานที่เลี้ยวขวาได้หลายช่องทาง เนื่องจากในปัจจุบันโปรแกรมทำการจำลองได้เพียงช่องทางเดียวเท่านั้น การปรับปรุงต้องแก้ไขโครงสร้างการดำเนินการใดๆ ที่เกี่ยวกับยวดยานที่เลี้ยวขวาทั้งหมด รวมทั้งโปรแกรมย่อยที่คำนวณค่าพารามิเตอร์ทางด้านการจราจรด้วย ผลจากการปรับปรุงจะทำให้ความถูกต้องในการจำลองยวดยานที่เลี้ยวขวาใกล้เคียงกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงในกรณีที่มีช่วงทางสำหรับเลี้ยวขวาตั้งแต่ 2 ช่องทางขึ้นไป

- พัฒนาโปรแกรมให้สามารถจำลองการจราจรไปพร้อมๆ กับการทำ Traffic Assignment เช่นเดียวกับโปรแกรม SATURN ซึ่งจะทำให้สามารถนำค่าความล่าช้าและความยาวคิวที่เกิดขึ้นบริเวณทางแยกไปใช้ในการพิจารณาเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด (Minimum Cost) ในขั้นตอนของการทำ Traffic Assignment ทำให้ได้เปรียบแบบจำลองการจราจรที่ใช้ในซิมูเลชั่นของโปรแกรม SATURN คือสะท้อนความยาวคิวที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งไม่มีในแบบจำลองของโปรแกรม SATURN เพราะโปรแกรม SATURN เป็นความยาวคิวแบบคิวในแนวดิ่ง (Vertical Queue) ทำให้เกิดปัญหาความยาวคิวยาวเกินความยาว Link เมื่อมีปริมาณจราจรเข้าสู่ทางแยกสูง

7.6 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาปรับปรุงและการใช้งานแบบจำลองการประมาณค่าความยาวคิว

- ในส่วนของการพัฒนาปรับปรุง ควรทดสอบการทำงานของโปรแกรมย่อยที่ทำหน้าที่จำลองการทำงานของ detector โดยเปรียบเทียบกับการทำงานของ detector จริงๆ เนื่องจากในปัจจุบันใช้วิธีการสร้างคำนวณค่า Time Occupancy มาจากสูตรทางคณิตศาสตร์ที่เป็นผลจากการวิจัยร่วมกับต่างประเทศ

- ในการหาตำแหน่ง detector ที่เหมาะสมนั้น ควรทดลองกับชิมูเลชั่นของทางด้านจราจรประเภท Microscopic ที่สามารถจำลองการติดตั้ง Traffic Detector ได้ด้วย อันจะทำให้สามารถจำลองการทำงานของ detector ได้ละเอียดอ่อนมากขึ้น แม้ว่าจะใช้เวลาในการจำลองนานขึ้นมากกว่าก็ตาม ชิมูเลชั่นที่เสนอแนะคือ โปรแกรม TRAF-NETSIM

- การประมาณค่าความยาวคิวจากตัวแปรทางด้านจราจรที่ได้จาก detector ซึ่งได้แก่ค่า Time Occupancy และปริมาณจราจรที่ตรวจวัดได้ โดยเสนอแนะว่าควรทดลองใช้ตัวแปรทั้งสองในการประมาณค่าความยาวคิวไปพร้อมๆ กัน เนื่องจากตัวแปรทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงในเชิงตรงกันข้ามเมื่อการจราจรมีสภาพหนาแน่นมาก โดยค่า Time Occupancy จะมีค่าเข้าใกล้ 100 ในขณะที่ปริมาณจราจรที่ตรวจวัดได้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้นการใช้ตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งในการประมาณค่าความยาวคิวจึงทำให้ผลที่ได้คลาดเคลื่อนไปได้มากในกรณีที่สภาพการจราจรหนาแน่น

- ในการนำสูตรการประมาณค่าความยาวคิวไปใช้ ควรตระหนักว่าสูตรดังกล่าวเป็นสูตรที่สร้างขึ้นในกรณีที่ค่ารอบเวลาสัญญาณไฟเท่ากับ 240 วินาที ดังนั้นจึงไม่ควรที่จะนำไปใช้โดยตรง แต่สามารถใช้เป็นแนวทางในการประมาณค่าความยาวคิวจาก detector ที่ติดตั้งบนโครงข่ายถนนจริง

7.7 ข้อเสนอแนะในการนำ ซี ยู ทราฟฟิค ชิมูเลชั่น โปรแกรม จำลองทางแยกที่ติดต่อกันเป็นโครงข่าย

ในอนาคตควรปรับปรุงความสามารถของ ซี ยู ทราฟฟิค ชิมูเลชั่นให้สามารถจำลองพฤติกรรมยวดยานที่เลี้ยวขวาให้สามารถเลี้ยวขวาได้ ตั้งแต่ 2 ช่องทางขึ้นไป โดยใช้การจำลองแบบ Microscopic ก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการประเมินผลแผนการจัดการจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพิจารณาจากค่าความล่าช้า และค่าความยาวคิวที่เกิดขึ้นได้ใกล้เคียงพฤติกรรมจริงมากขึ้น ทำให้สามารถพิจารณาคัดเลือกแผนการจัดการจราจรในเบื้องต้นโดยเสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการนำไปทดลองจัดการจราจรจริง