บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา

6.1 ผลจากการศึกษาคอขวดจราจร

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของการเกิดคอขวดจราจรแบบก้างปลา ซึ่งเกิดจากการตัดกันของกระแสจราจรบนทางด่วน ที่มีทางเข้าทางด่วนอยู่ก่อนหน้าและต่อมาเป็นบริเวณที่มีทางออกทางด่วนที่อยู่ใกล้เคียงกัน จึงเป็นเหตุให้ Bottleneck Capacity ของทางด่วนลดลงและเกิดความล่าช้าในการเดินทางขึ้น จากการศึกษาได้แบ่งข้อมูลจราจรออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 อธิบายถึงภาพรวมพฤติกรรมระหว่าง Bottleneck Capacity กับ q_{on}, q_{off}, LC_STF และ LC_FTS

ส่วนที่ 2 อธิบายถึงพฤติกรรมระหว่าง q_{on} กับ ปริมาณการเปลี่ยนช่องทางจากช่องทางที่ 4 ไปช่องทางที่ 1 และพฤติกรรมระหว่าง q_{off} กับ ปริมาณการเปลี่ยนช่องทางจากช่องทางที่ 1 ไปช่องทางที่ 4

ส่วนที่ 3 อธิบายถึงพฤติกรรมระหว่างปริมาณการเคลื่อนที่แต่ละช่องทาง (q_i) กับปริมาณการเปลี่ยนช่องทาง (LC) และความเร็วของแต่ละช่องทาง

ตารางที่ 6.1 เหตุการณ์ความสัมพันธ์ q_{on} และ q_{off} กับ Bottleneck Capacity

	q_{on}	q_{off}	Bottleneck Capacity	Prob (%)
Event	↑	-	↑	24
	↓	-	↓	24
	-	↓	↑	16
	-	↑	↓	28
	↑	↑	↓	8

จากตารางที่ 6.1 ชี้ให้เห็นผลการศึกษาความสัมพันธ์ของ q_{on} และ q_{off} ที่มีผลต่อ Bottleneck Capacity พบว่า ปริมาณการเคลื่อนที่เข้าทางด่วน (q_{on}) และปริมาณการเปลี่ยนช่องทางทั้งหมดจากช่องทางเคลื่อนที่ช้าไปเร็ว (LC_STF) มีความสัมพันธ์ทิศทางเดียวกับ Bottleneck Capacity โดย q_{on} มีเหตุการณ์ที่สัมพันธ์กับการเพิ่ม Bottleneck Capacity ร้อยละ 24 และลด Bottleneck Capacity

ร้อยละ 24 หรือรวมทั้งสองเหตุการณ์ร้อยละ 48 ขณะที่ปริมาณการเคลื่อนที่ออกจากทางด่วน (q_{off}) และปริมาณการเปลี่ยนช่องทางทั้งหมดจากช่องทางเคลื่อนที่เร็วไปช้า (LC_FTS) มีความสัมพันธ์ทางตรงข้ามกับ Bottleneck Capacity โดย q_{off} มีเหตุการณ์ที่สัมพันธ์กับการเพิ่ม Bottleneck Capacity ร้อยละ 16 และลด Bottleneck Capacity ร้อยละ 28 หรือรวมทั้งสองเหตุการณ์ร้อยละ 44 แต่ในเหตุการณ์ที่ทั้งสองกรณีมีปริมาณการเคลื่อนที่มากพร้อมกัน แล้วปริมาณการเคลื่อนที่ทั้งสองนั้นมีความสัมพันธ์ทางตรงข้ามกับ Bottleneck Capacity ซึ่งเหตุการณ์นี้เกิดขึ้นเพียงร้อยละ 8 จึงไม่นำมาใช้สร้างแบบจำลอง Bottleneck Capacity คอขวด

ตารางที่ 6.2 เหตุการณ์ความสัมพันธ์ LC_STF และ LC_FTS กับ Bottleneck Capacity

	LC_STF	LC_FTS	Bottleneck Capacity	Prob (%)
Event	↑	-	↑	26
	↓	-	↓	16
	-	↓	↑	16
	-	↑	↓	21
	↑	↑	↓	12

จากตารางที่ 6.1 ชี้ให้เห็นผลการศึกษาความสัมพันธ์ของ LC_STF และ LC_FTS ที่มีผลต่อ Bottleneck Capacity พบว่า LC_STF มีความสัมพันธ์ทิศทางเดียวกับ Bottleneck Capacity โดย LC_STF มีเหตุการณ์ที่สัมพันธ์กับการเพิ่ม Bottleneck Capacity ร้อยละ 26 และลด Bottleneck Capacity ร้อยละ 16 หรือรวมทั้งสองเหตุการณ์ร้อยละ 42 ขณะที่ LC_FTS มีความสัมพันธ์ทางตรงข้ามกับ Bottleneck Capacity โดย LC_FTS มีเหตุการณ์ที่สัมพันธ์กับการเพิ่ม Bottleneck Capacity ร้อยละ 16 และลด Bottleneck Capacity ร้อยละ 21 หรือรวมทั้งสองเหตุการณ์ร้อยละ 37 แต่ในเหตุการณ์ที่ทั้งสองกรณีมีปริมาณการเคลื่อนที่มากพร้อมกัน แล้วปริมาณการเคลื่อนที่ทั้งสองนั้นมีความสัมพันธ์ทางตรงข้ามกับ Bottleneck Capacity ซึ่งเหตุการณ์นี้เกิดขึ้นเพียงร้อยละ 12 จึงไม่นำมาใช้สร้างแบบจำลอง Bottleneck Capacity คอขวด

อีกทั้ง ความเร็วในแต่ละช่องทางและปริมาณการเคลื่อนที่บนทางด่วนตั้งแต่ช่องทางที่ 1 ถึง 4 ที่ตำแหน่ง X_3 เทียบกับระยะจากเกาะกลาง พบว่าช่องทางที่อยู่ใกล้เกาะกลางมีความเร็วมากในทางตรงกันข้ามช่องทางที่อยู่ไกลเกาะกลางมีความเร็วน้อย กรณีที่ความเร็วเฉลี่ยของช่องทางที่ 3 น้อยกว่าความเร็วเฉลี่ยของช่องทางที่ 4 เนื่องมาจากช่องทางที่ 3 เป็นช่องทางปกติที่รถใช้วิ่ง โดยช่องทางที่ 4 ไม่ได้เป็นช่องทางปกติที่รถใช้วิ่งแต่เป็นไหล่ทาง เมื่อช่องทางที่ 3 มีความเร็วลดลงมากหรือเกิดจราจร

ติดขัดหรือเกิดคอขวด รถมีแนวโน้มเปลี่ยนมาใช้ช่องทางที่ 4 แทน เพราะว่ามีความเร็วในการเคลื่อนที่มากกว่าช่องทางที่ 3

เมื่อนำผลสรุปของข้อมูลจราจรมาหาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความจุคอขวด พบว่า Bottleneck Capacity กับ k_{all} และ v ไม่มีความสัมพันธ์กัน จึงไม่นำมาพิจารณาในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับ Bottleneck Capacity ของทางด่วนมี 4 ประเภทได้แก่ q_{on} , q_{off} , LC_STF และ LC_FTS โดยผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ของ Bottleneck Capacity พบว่าตัวแปร q_{on} เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่ม Bottleneck Capacity มากที่สุด อีกทั้งตัวแปร LC_STF และ LC_FTS เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มและลด Bottleneck Capacity ตามลำดับ เนื่องจากกลุ่มผู้ที่ขับขี่แบบเร่งรีบเปลี่ยนเข้าหาเกาะกลางเพื่อความเร็วที่เพิ่มขึ้นซึ่งก็คือ LC_STF ขณะที่กลุ่มผู้ที่ขับขี่แบบล่าช้าเปลี่ยนออกจากเกาะกลางเพื่อความเร็วที่ลดลงซึ่งก็คือ LC_FTS อย่างไรก็ตามตัวแปร q_{off} เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่มีนัยสำคัญกับการลดลงของ Bottleneck Capacity แต่ไม่ค่อยมีการศึกษาที่แสดงถึงอิทธิพลของการเคลื่อนที่ออกจากทางด่วนกับ Bottleneck Capacity

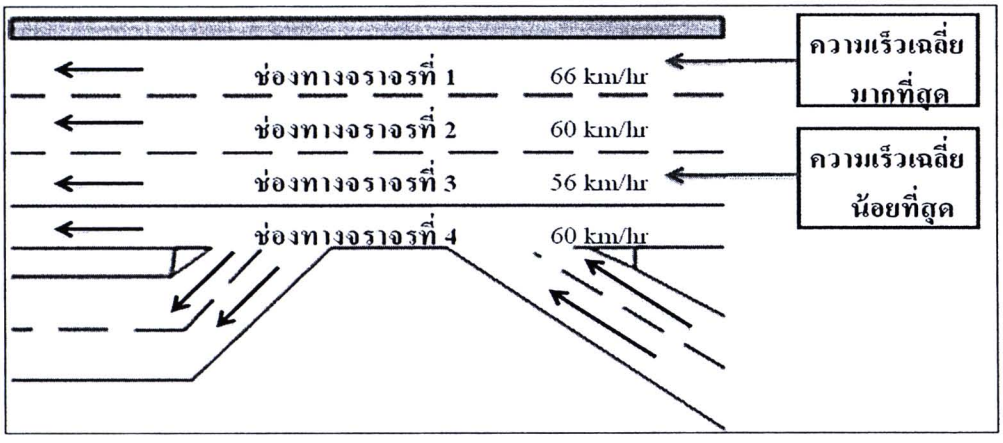
6.2 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีต

งานวิจัยนี้ใช้กล้องวิดีทัศน์ในการเก็บข้อมูลจราจร ซึ่งทำให้ได้พฤติกรรมของคอขวดจราจรที่ชัดเจนมากกว่าการเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องตรวจนับรถยนต์แบบขดลวดเหนี่ยวนำ เมื่อพิจารณาพบว่า งานวิจัยนี้มีความสอดคล้องและได้ช่วยยืนยันการศึกษาคอขวดจราจรแบบก้างปลาของ Lee และ Cassidy (2009) โดยงานวิจัยนี้ได้ยืนยันว่า q_{on} เป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลง Bottleneck Capacity เนื่องจากมีการเปลี่ยนช่องทางด้วยความจำเป็น ซึ่งทำให้รถที่เข้าทางด่วนมานั้นเปลี่ยนจากช่องทางเคลื่อนที่ช้าไปช่องทางเคลื่อนที่เร็ว จึงส่งผลให้รถมีความเร็วในการเคลื่อนที่มากขึ้น โดย q_{on} มีความสัมพันธ์ในทางเดียวกับ Bottleneck Capacity

นอกจากนั้น งานวิจัยนี้ได้พยายามยืนยันความสัมพันธ์ระหว่าง q_{off} กับ Bottleneck Capacity และพบว่า q_{off} มีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับ Bottleneck Capacity ซึ่งได้ผลสอดคล้องกับวันแรกของการเกิดคอขวดที่ Lee และ Cassidy (2009) ได้ศึกษาไว้แต่ไม่ได้ศึกษาในรายละเอียด

งานวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาทฤษฎีพฤติกรรมการเปลี่ยนช่องทางจราจรของผู้ขับขี่โดย Laval และ Daganzo (2006) ซึ่งงานวิจัยนี้พบว่า ช่องทางที่อยู่ใกล้เกาะกลางมีความเร็วมากในทางตรงกันข้ามช่องทางที่อยู่ไกลเกาะกลางมีความเร็วน้อย กล่าวคือ ช่องทางที่ 1 มีความเร็วเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 66 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ช่องทางที่ 2 มีความเร็วเฉลี่ยกับ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ช่องทางที่ 3

มีความเร็วเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 56 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และช่องทางที่ 4 มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อีกทั้งยังพบว่า ช่องไหล่ทางมีรถขับขี่ใช้งานน้อยในช่วงเวลาก่อนเกิดคอขวด แต่หลังจากเกิดคอขวดแล้วช่องไหล่ทางมีรถขับขี่ใช้งานมากขึ้น เนื่องมาจากช่องทางที่ 3 ได้รับผลกระทบจากการตัดกันของการเปลี่ยนช่องทาง ซึ่งส่งผลให้ช่องทางที่ 3 ติดขัดและมีความเร็วลดลง ดังนั้น รถจึงเข้ามาใช้ช่องไหล่ทาง (ช่องทางที่ 4) แทน เพราะรถสามารถเคลื่อนที่ได้รวดเร็วและติดขัดน้อยกว่าช่องทางที่ 3 ดังแสดงในภาพที่ 6.1



ภาพที่ 6.1 ความเร็วเฉลี่ยแต่ละช่องทาง

อีกทั้ง ตัวแปร LC_STF และ LC_FTS ที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มและลด Bottleneck Capacity ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงและงานศึกษาวิจัยพฤติกรรมของกระแสจราจรแบบหลายช่องทางโดย Daganzo (2002) ที่พบว่ากลุ่มผู้ที่ขับขี่แบบเร่งรีบ (Aggressive driver) เปลี่ยนเข้าหาเกาะกลางเพื่อเพิ่มความเร็วขึ้น ขณะที่กลุ่มผู้ที่ขับขี่แบบล่าช้า (Timid driver) เปลี่ยนออกจากเกาะกลางเพื่อลดความเร็วลง

6.3 แนวทางการจัดการจราจรบริเวณคอขวดแบบก้างปลา

บริเวณก้างปลาเป็นบริเวณที่มีความวุ่นวายของกระแสจราจรมาก เนื่องจากทางเข้าทางด่วนและทางออกทางด่วนอยู่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น เพื่อให้การจราจรมีประสิทธิภาพจึงต้องควบคุมพฤติกรรมของผู้ขับขี่และปริมาณจราจรในพื้นที่ ซึ่งการจัดการต้องปรับเปลี่ยนวิธีการตามสถานการณ์ โดยได้นำเสนอวิธีการจัดการดังต่อไปนี้

6.3.1 การจัดการจราจรบริเวณต้นทาง (Upstream Control) เป็นมาตรการควบคุมปริมาณจราจรด้วยความเร็ว และการจัดการกระแสจราจรให้เป็นระเบียบ ก่อนที่กระแสจราจรเข้ามาในพื้นที่ศึกษา เพื่อไม่ให้กระแสจราจรถูกรบกวนจากการเปลี่ยนช่องทางจราจรจำนวนมาก ซึ่งการจัดการกระแสจราจรอย่างเป็นระเบียบ ทำให้มีปริมาณการเคลื่อนที่มากขึ้น ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. ติดตั้งป้ายอิเล็กทรอนิกส์ที่เปลี่ยนข้อความบนกระดานได้ (Variable Message Sign) โดยติดตั้งป้ายแยกกันในแต่ละช่องทางจราจร และติดตั้งป้ายแนะนำให้เปลี่ยนช่องทางจราจรก่อนเข้าถึงพื้นที่ศึกษา

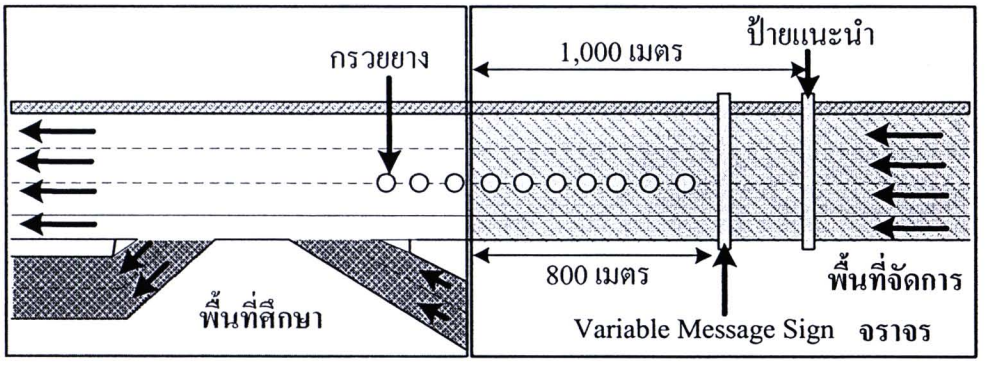
2. ป้ายอิเล็กทรอนิกส์และป้ายแนะนำการเปลี่ยนช่องทางจราจรติดตั้งบริเวณก่อนถึงพื้นที่ศึกษาเป็นระยะทาง 800 เมตรและ 1,000 เมตรตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 6.2 เพื่อให้ผู้ขับขี่ได้สังเกต รับรู้ และปรับเปลี่ยนพฤติกรรมได้ก่อนเข้าถึงบริเวณคอขวด

3. ป้ายอิเล็กทรอนิกส์บอกให้รถในพื้นที่จัดการจราจรใช้ความเร็วอิสระ เมื่อรถในพื้นที่ศึกษาใช้ความเร็วมากกว่า 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

4. ป้ายแนะนำบอกให้รถที่ต้องการตรงต่อไปบนทางด่วนใช้สองช่องทางจราจรที่ชิดกับเกาะกลาง และให้รถที่ต้องการออกจากทางด่วนให้ใช้ช่องทางจราจรที่ชิดไหล่ทาง

5. ป้ายอิเล็กทรอนิกส์ให้ใช้ความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วเฉลี่ยของรถในแต่ละช่องจราจร (ดังแสดงในภาพที่ 6.1) เมื่อการจราจรในพื้นที่ศึกษาเริ่มติดขัดเป็นคอขวด หรือมีความเร็วเฉลี่ยต่ำกว่า 56 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อย่างไรก็ตาม เมื่อการจราจรในพื้นที่ศึกษาไม่มีจราจรติดขัดแล้ว ให้ทำตามข้อที่ 3 เหมือนเดิม

6. การจัดการกระแสจราจรให้เป็นระเบียบ ทำโดยการวางกรวยกั้นให้เปลี่ยนช่องทางตั้งแต่พื้นที่จัดการจราจรจนถึงพื้นที่ศึกษาที่ gore area ของต้นทาง ดังแสดงเป็นจุดกลมในภาพที่ 6.2 เพื่อลดการตัดกันของของกระแสจราจรบริเวณก้างปลา โดยให้รถที่ต้องการเปลี่ยนออกจากทางด่วนเปลี่ยนมาอยู่ติดช่องไหล่ทางก่อนถึงพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 6.2 การจัดการจราจรของรถก่อนเข้าบริเวณพื้นที่ศึกษา

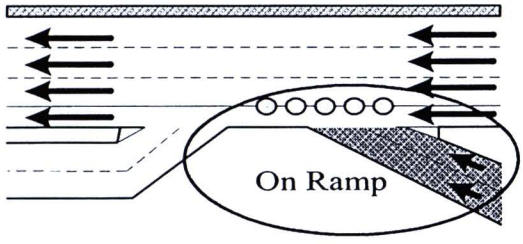
6.3.2 การจัดการจราจรบริเวณทางเข้าทางด่วน (On-Ramp Control) เป็นมาตรการควบคุมปริมาณจราจรด้วยอัตราเร็วในการให้บริการของด่านเก็บค่าผ่านทาง และการจัดการกระแสจราจรที่มาจากทางเข้าทางด่วน ให้สามารถเข้ามาได้อย่างสะดวก เนื่องจากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า

ความจุคอขวดเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเคลื่อนที่เข้าทางด่วนที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงบริเวณที่จัดการจราจรในภาพที่ 6.3 ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. ให้ด่านเก็บค่าผ่านทางบริการด้วยอัตราที่เร็วขึ้นกว่าปกติ ขณะเกิดคอขวดจราจร และให้บริการด้วยอัตราปกติเมื่อจราจรไม่ติดขัด

2. ให้รถที่มาจาก On-Ramp เข้ามาอย่างสะดวก โดยไม่ให้เกิดการชะลอตัวจากรถที่ต้องการไป Off-Ramp มาขวางทางหรือแทรกรถที่มาจาก On-Ramp ซึ่งทำโดยให้เจ้าหน้าที่ลงไปให้การอำนวยความสะดวกแก่รถที่เข้าทางด่วนในบริเวณพื้นที่ศึกษา และวางกรวยยางกำกับการเปลี่ยนช่องทางจราจรดังในภาพที่ 6.3 เพื่อป้องกันไม่ให้รถที่ต้องการไป Off-Ramp มาเปลี่ยนช่องทางใกล้กับบริเวณ On-Ramp ที่ต้นทางคอขวด

3. ส่งเสริมให้กระแสจราจรของรถเป็นระเบียบก่อนถึงพื้นที่ศึกษา โดยใช้ควบคู่กับมาตราการในหัวข้อที่ 6.3.1 และให้ด่านเก็บค่าผ่านทางที่อยู่ก่อนถึงพื้นที่ศึกษา บริการเก็บค่าผ่านทางเช่นเดียวกับข้อที่ 1



ภาพที่ 6.3 การจัดการรถบริเวณ On-Ramp

6.4 งานวิจัยในอนาคต

การพัฒนางานวิจัยในอนาคตอาจมีแนวทางดำเนินงานแก้ไขปรับปรุง เพื่อความสมบูรณ์ของงานวิจัย อันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยและพัฒนาการด้านการขนส่งจราจร ดังนี้

6.4.1 งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคอขวดจราจรแบบก้างปลาที่เกิดขึ้นบริเวณช่วงทางขึ้นด่านอาจณรงค์กับทางลงท่าเรือคลองเตย ถนนเกษมราษฎร์ ซึ่งมาจากบางนาไปดินแดงเพียงแห่งเดียว และได้วิเคราะห์ข้อมูลจราจรเพียง 4 วันเท่านั้น ดังนั้น งานวิจัยในอนาคตจึงควรศึกษาคอขวดจราจรประเภทนี้ในบริเวณพื้นที่ศึกษาอื่นเพิ่มเติม หรือด้วยจำนวนวันที่ศึกษามากขึ้น เพื่อให้สามารถยืนยันพฤติกรรมของคอขวดประเภทนี้ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

6.4.2 ค้นคว้าวิธีการวิเคราะห์หาพฤติกรรมที่อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความจุของคอขวด เนื่องจากการวิเคราะห์พฤติกรรมอาจต้องใช้วิธีการที่หลากหลาย เพื่อให้สามารถอธิบาย

รายละเอียดของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น เช่น ตำแหน่งของการเปลี่ยนช่องทางที่อาจส่งผลต่อปริมาณการเคลื่อนที่ออกจากคอขวด ซึ่งตำแหน่งที่แตกต่างกันอาจให้ผลไม่เหมือนกัน เป็นต้น

6.4.3 ทดสอบการจัดการจราจรบริเวณคอขวดเพื่อหาแนวทางในการจัดการจราจรบริเวณคอขวดประเภทนี้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด อาจทำโดยการขอความร่วมมือยังตำรวจทางด่วนให้ความร่วมมือทดสอบนำร่องในช่วงเวลาที่ต้องการศึกษาเป็นเวลาไม่นาน เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเข้าไปปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการขับขี่ แล้วนำผลที่ได้มาจัดการจราจรในบริเวณอื่นๆ ต่อไป