





(Upstream Speed) ความเร็วที่จุดสิ้นสุด (Downstream Speed) ความหนาแน่นที่จุดเริ่มต้น (Upstream Density) และ ความหนาแน่นที่จุดสิ้นสุด (Downstream Density)

### วิธีการวิจัย

แนวทางในการศึกษาเริ่มต้นจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศ ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาผลกระทบด้านต้นทุนของอุบัติเหตุจราจรบริเวณที่ทำให้เกิดคอขวด (Bottleneck) เพื่อแสดงความสำคัญของปัญหา กำหนดวัตถุประสงค์และพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

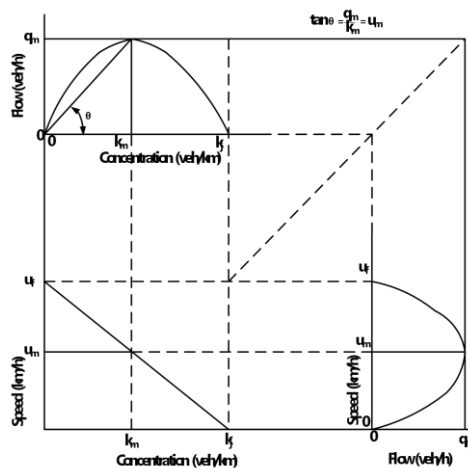
1. ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษามูลค่าความสูญเสียและผลกระทบที่เกิดจากการเกิดอุบัติเหตุ รวมถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดคอขวด
2. คัดเลือกจุดที่เคยเกิดอุบัติเหตุจราจรบริเวณช่วงถนนที่ทำการศึกษา ซึ่งใช้ข้อมูลที่รวบรวมไว้โดยการทางพิเศษแห่งประเทศไทย
3. ทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยเริ่มจากหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร
4. สรุปผลการศึกษาและจัดทำข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป

### การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลที่น่ามาศึกษาครั้งนี้ เป็นข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมโดยการทางพิเศษแห่งประเทศไทย (Expressway Authority of Thailand) เป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่ดูแลรับผิดชอบ การเก็บบันทึกข้อมูลอุบัติเหตุบนทางพิเศษ ปริมาณจราจร และความเร็วยานพาหนะ โดยแหล่งข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพจราจร (Sensor) ที่ตำแหน่งใกล้ที่สุดก่อนถึงจุดเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งสามารถคำนวณเพื่อหาค่าความล่าช้าในการเกิดอุบัติเหตุแต่ละครั้งได้ และในการศึกษานี้ได้นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์จำนวน 18 กรณี เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูล

### ความสัมพันธ์พื้นฐานของตัวแปรที่อธิบายกระแสจราจร

ตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ในระดับมหภาค (Macroscopic parameters) ได้แก่ ปริมาณจราจรและอัตราการไหล (Volume) ความเร็ว (Speed) และความหนาแน่น (Density) (สุรเมศวร์, 2551) โดยมีสมการคือ  $q = uk$  ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 Fundamental Diagram

ที่มา : ดัดแปลงจาก May (1990)

## เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

### อุปกรณ์ตรวจวัดสภาพจราจร (Sensor)

งานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพจราจร (Sensor) ข้อมูลที่นำมาใช้วิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณจราจร ความเร็ว และความหนาแน่น ซึ่งบนทางพิเศษกาญจนภิเษก (ช่วงบางพลี-สุขสวัสดิ์) มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพจราจรทั้งหมดจำนวน 44 จุด ได้แก่ ทิศทาง A มุ่งหน้าไปสุขสวัสดิ์ (จากทิศตะวันออกมุ่งไปทางทิศตะวันตก) จำนวน 20 จุด และทิศทาง B มุ่งหน้าไปบางพลี (จากทิศตะวันตกมุ่งไปทางทิศตะวันออก) จำนวน 22 จุด (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2556) โดยที่ทิศทาง B เริ่มต้นจากถนนสุขสวัสดิ์บริเวณพระประแดง ผ่านสะพานกาญจนภิเษกข้ามแม่น้ำเจ้าพระยา ผ่านทางแยกเชื่อมต่อกับสะพานภูมิพลไปทางทิศตะวันออก ผ่านถนนสุขุมวิท ถนนศรีนครินทร์ และถนนเทพารักษ์ ไปบรรจบกับทางหลวงหมายเลข 34 (บางนา - บางปะกง) เชื่อมต่อกับทางพิเศษบูรพาวิถีที่ทางแยกต่างระดับวัดสลด อำเภอบางพลี ระยะทาง 22.5 กิโลเมตร ตัวอย่างตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพจราจร (Sensor) และแผนที่แสดงทิศทางบนทางพิเศษกาญจนภิเษก (ช่วงบางพลี-สุขสวัสดิ์) ดังแสดงในภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

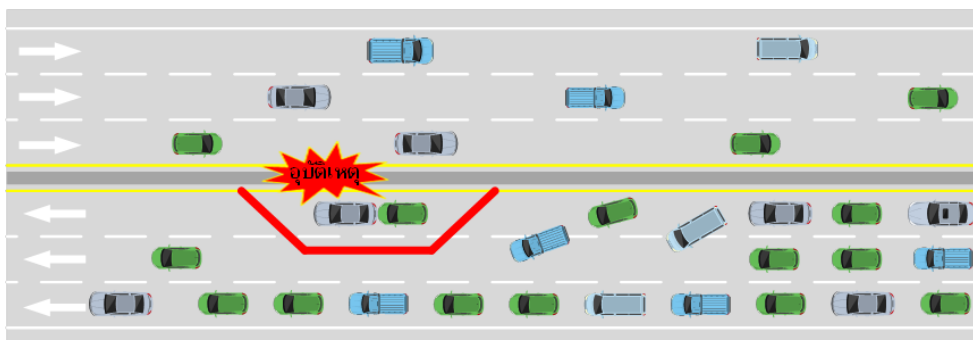


ภาพที่ 2 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพจราจร  
ที่มา : การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2556)

ภาพที่ 3 แผนที่แสดงทิศทางบนทางพิเศษกาญจนภิเษก  
(ช่วงบางพลี-สุขสวัสดิ์)

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

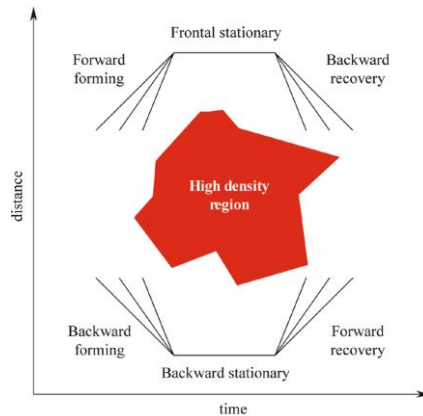
1. คอขวด (Bottleneck) ทางด้านวิศวกรรมจราจร หมายถึง จุดหรือช่วงหนึ่งบนถนนที่ก่อให้เกิดสภาพการจราจรติดขัดด้านเหนือน้ำ (ก่อนถึงจุดคอขวด) ส่วนด้านท้ายน้ำ (หลังจุดคอขวด) จะมีสภาพการจราจรเบาบาง ซึ่งคอขวดจะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณจราจรบนถนนเส้นนั้นสูง และมีอุปสรรคบางอย่างทำให้อัตราการเคลื่อนตัวของกระแสจราจรลดลง เช่น ทางโค้ง ทางลาดชัน คอสะพาน ช่องจราจรลดลง หรืออุบัติเหตุ เป็นต้น (ปกรณ์, 2557) ตัวอย่างลักษณะการเกิดคอขวดบนช่วงถนน ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงตัวอย่างลักษณะการเกิดคอขวดบนช่วงถนน

## 2. คลื่นสะท้อนในกระแสจราจร (Shock Waves in Traffic Stream)

งานวิจัยนี้จะใช้สูตรของคลื่นสะท้อนในกระแสจราจร (Shock Waves in Traffic Stream) มาคำนวณเพื่อวิเคราะห์หาค่าความล่าช้าในการเดินทาง ซึ่งคลื่นสะท้อนในกระแสจราจรเป็นปรากฏการณ์คอขวด (Bottleneck condition) เกิดเมื่อมีความจุของถนนลงอย่างฉับพลัน ทำให้มีการชะลอตัวของกระแสจราจรและเกิดแถวคอย เมื่อมีอัตราการไหลและความหนาแน่นสูง การเกิดปรากฏการณ์คอขวดทำให้รถต้องลดความเร็วลงอย่างต่อเนื่อง การชะลอความเร็วนี้ขยายออกไปในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของรถ (ศิริล, 2556) ประเภทของคลื่นสะท้อนในกระแสจราจร (Shockwave Classification) แบ่งได้เป็น 6 ประเภท ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ประเภทของคลื่นสะท้อนในกระแสจราจร

ที่มา : S.P. Hoogendoorn (2010)

### สมการที่ใช้ในงานวิจัย

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่า Travel delay มีดังนี้

1. Shockwave build up speed ( $v_1$ ) =  $(q_2 - q_1)/(k_2 - k_1)$
2. Speed in congestion ( $v_3$ ) =  $(q_2 - 0)/(k_2 - 0)$
3. Back of queue =  $v_1 t_1$
4. Shockwave dissipation speed ( $v_2$ ) =  $(q_4 - q_3)/(k_4 - k_3)$
5. Time to clear queue =  $v_1 t_1 / v_2$
6. No. of Veh affected = Arrival rate x  $[t_1 + (v_1 t_1 / v_2)]$
7. Veh-km affected =  $(v_1 t_1 / 2) \times [\text{Arrival rate} \times [t_1 + (v_1 t_1 / v_2)]]$
8. Delay in queue =  $[t_1 + (v_1 t_1 / v_2)] / 2 \times (\text{Arrival rate} - \text{Bottleneck capacity}) t_1$
9. Travel delay = Arrival rate x  $[t_1 + (v_1 t_1 / v_2)] \times [(v_1 t_1 / v_3) - (v_1 t_1 / u_1)] / 2$

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่า Indirect Cost

$$\text{Indirect Cost} = \text{VOC} + \text{VOT}$$

$$\text{VOC} = \text{Veh-km affected} \times \text{ค่าใช้จ่ายในการใช้รถ}$$

$$\text{VOT} = (\text{Delay in queue} + \text{Travel delay}) \times \text{มูลค่าเวลาในการเดินทาง}$$

โดยที่ค่า VOC (Vehicle Operating Cost) คือ ค่าใช้จ่ายในการใช้รถ เป็นค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เกี่ยวกับรถ

VOT (Value Of Time) คือ มูลค่าเวลาในการเดินทาง เป็นมูลค่าที่ต้องสูญเสียไปกับการเดินทาง

หมายเหตุ ในการคำนวณผู้วิจัยได้ใช้ค่าใช้จ่ายในการใช้รถ = 8.60 baht/pcu-km และมูลค่าเวลาในการเดินทาง = 168 baht/pcu-hr (สำนักแผนงาน กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, 2561)

### ข้อมูลอุบัติเหตุ

ข้อมูลอุบัติเหตุจากฐานข้อมูลแสดงรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้ วันและเวลาที่เกิดอุบัติเหตุ ช่วงเวลา ความรุนแรง ตำแหน่งที่เกิดอุบัติเหตุ ตำแหน่ง Sensor ลักษณะการเกิดอุบัติเหตุ เวลาพื่นกีดขวาง และเลนที่เกิดเหตุ ดังแสดงตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** แสดงข้อมูลอุบัติเหตุ

กรณี	วันที่เกิดเหตุ	เวลาเกิดเหตุ	ช่วงเวลา*	ความรุนแรง**	ตำแหน่งที่เกิดเหตุ	ตำแหน่ง sensor	ลักษณะการเกิดอุบัติเหตุ	เวลาที่พื้นที่เกิดขวาง	เลขที่เกิดเหตุ***
1	7/1/14	14:05	นอกเวลาเร่งด่วน	PDO	17+700B	18+800B	พลิกคว่ำ	14:27	1
2	28/1/14	15:45	นอกเวลาเร่งด่วน	บาดเจ็บ	14+400A	11+300A	ชนท้าย	16:10	2
3	17/2/14	12:12	นอกเวลาเร่งด่วน	บาดเจ็บ	17+700B	18+600B	ชนท้าย	12:36	4
4	10/3/14	20:42	นอกเวลาเร่งด่วน	บาดเจ็บ	ลงด้านปากน้ำฝั่ง B	15+000B	ชนท้าย	21:05	5
5	20/3/14	9:54	นอกเวลาเร่งด่วน	PDO	บางครุ 3	11+300A	ชนไม้กั้น	10:10	1
6	9/7/14	10:33	นอกเวลาเร่งด่วน	บาดเจ็บ	15+500B	15+800B	ชนท้าย	10:47	2
7	28/7/14	9:54	นอกเวลาเร่งด่วน	บาดเจ็บ	10+800A	10+300A	ชนท้าย	10:10	5
8	26/8/14	12:32	นอกเวลาเร่งด่วน	บาดเจ็บ	16+400A	16+300A	ชนท้าย	12:54	2,3
9	12/2/15	10:30	นอกเวลาเร่งด่วน	บาดเจ็บ	19+300A	19+300A	ชนท้าย	10:48	3
10	18/2/15	11:09	นอกเวลาเร่งด่วน	บาดเจ็บ	3+800A	4+200A	ชนท้าย	11:26	2
11	3/3/15	15:15	นอกเวลาเร่งด่วน	บาดเจ็บ	6+700A	6+900A	ชนท้าย	15:46	1,3
12	14/3/15	8:49	เร่งด่วนเช้า	PDO	21+000B	21+800B	ชนท้าย	9:10	3
13	22/3/15	19:15	เร่งด่วนเย็น	บาดเจ็บ	1+200B	1+600B	เฉี่ยวชน	19:34	2
14	30/3/15	11:40	นอกเวลาเร่งด่วน	บาดเจ็บ	18+100A	17+800A	ชนท้าย	12:05	3
15	5/1/16	6:38	เร่งด่วนเช้า	บาดเจ็บ	22+000A	22+300A	พลิกคว่ำ	6:50	3
16	6/1/16	6:53	เร่งด่วนเช้า	PDO	17+300A	16+300A	เฉี่ยวชน	7:20	0,3
17	10/1/16	16:10	เร่งด่วนเย็น	บาดเจ็บ	18+200B	18+800B	ชนท้าย	16:30	0,1
18	11/1/16	17:23	เร่งด่วนเย็น	PDO	20+700B	20+300B	ชนท้าย	17:47	3

หมายเหตุ : \* ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า 06.00-09.00 น.

ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน 09.00-16.00 น.

ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น 16.00-20.00 น.

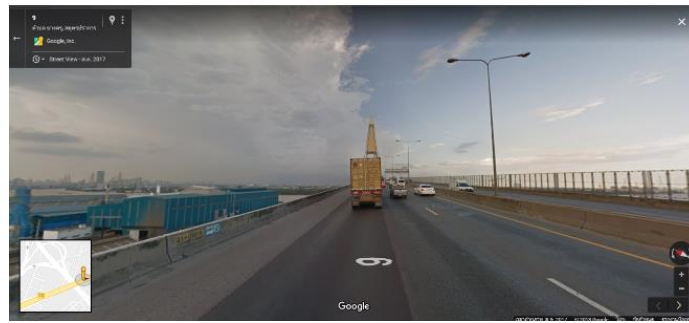
\*\* PDO (Property damage only) คือ ทรัพย์สินเสียหายอย่างเดียว

\*\*\* เลขที่เกิดเหตุ 0 = ไหล่ทาง, 1 = เลนซ้าย, 2 = เลนกลาง,

3 = เลนขวา, 4 = on ramp และ 5 = off ramp

### ตัวอย่างข้อมูลอุบัติเหตุ

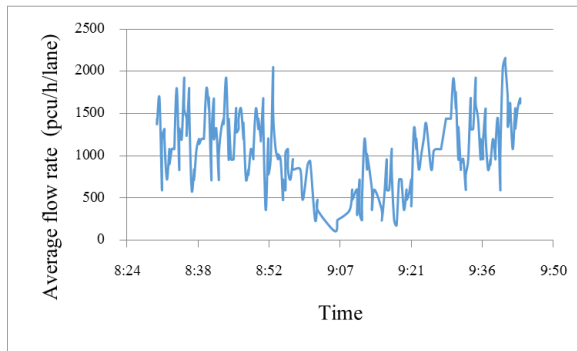
เมื่อวันที่ 14 มกราคม 2015 อุบัติเหตุเวลา 08:49 น. บริเวณกิโลเมตรที่ 21+000B เป็นอุบัติเหตุรถชนต้นไม้กวด 1 คัน รถตู้ 2 คัน ชนท้ายกันที่เลนจราจรด้านขวา ไม่มีผู้ได้รับบาดเจ็บ ตำแหน่งที่เกิดอุบัติเหตุก่อนขึ้นสะพานกาญจนาภิเษก ดังแสดง ในภาพที่ 6



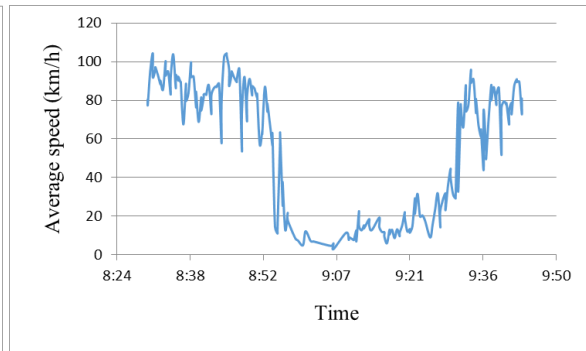
ภาพที่ 6 บริเวณตำแหน่งที่เกิดอุบัติเหตุ

**ผลการวิจัย**

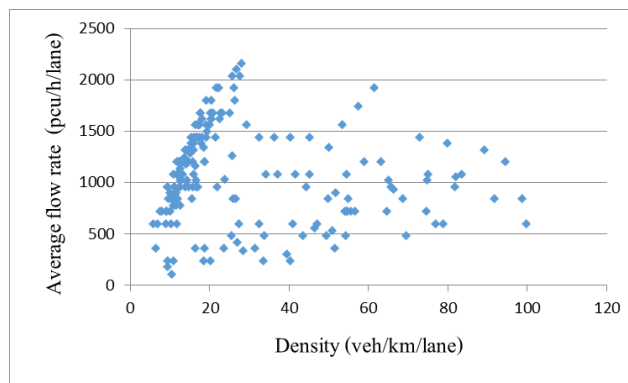
จากตัวอย่างอุบัติเหตุข้างต้น ใช้ข้อมูล Sensor ตำแหน่งที่ 21+800B (ก่อนจุดเกิดอุบัติเหตุ 800 เมตร) พบว่า ก่อนเกิดอุบัติเหตุ Average flow rate เท่ากับ 1,230 pcu/h/lane ขณะเกิดอุบัติเหตุ เท่ากับ 680 pcu/h/lane และหลังเคลียร์คิว (แถวคอยถูกระบายออกจนหมดเพื่อให้สภาพการจราจรกลับมาเป็นปกติ) เท่ากับ 1,290 pcu/h/lane ดังแสดงภาพที่ 7 และข้อมูล Average speed ก่อนเกิดอุบัติเหตุ เท่ากับ 87 km/h ขณะเกิดอุบัติเหตุ เท่ากับ 27 km/h และหลังเคลียร์คิว (แถวคอยถูกระบายออกจนหมดเพื่อให้สภาพการจราจรกลับมาเป็นปกติ) เท่ากับ 75 km/h ดังแสดงในภาพที่ 8 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Average flow rate กับ Density ดังแสดงกราฟในภาพที่ 9



ภาพที่ 7 ตัวอย่างกราฟแสดงข้อมูล Average flow rate



ภาพที่ 8 ตัวอย่างกราฟแสดง Average speed



ภาพที่ 9 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Average flow rate กับ Density

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล Flow และ Density

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล Flow และ Density ที่ตำแหน่ง Upstream และ Downstream ทั้งก่อนและหลังเกิดอุบัติเหตุ ได้ค่า Flow และ Density ในแต่ละกรณี ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูล Flow และ Density (เลนขวา)

Case	Upstream flow ( $q_1$ ) (pcu/h/lane)	Density ( $k_1$ ) (pcu/km)	Downstream flow ( $q_2$ ) (pcu/h/lane)	Density ( $k_2$ ) (pcu/km)	Upstream flow after ( $q_3$ ) (pcu/h/lane)	Density ( $k_3$ ) (pcu/km)	Downstream flow after ( $q_4$ ) (pcu/h/lane)	Density ( $k_4$ ) (pcu/km)
1	1,420	15.2	765	31.0	1,310	15.0	1,315	14.8
2	1,035	13.4	1,105	14.8	1,150	14.1	1,190	14.2
3*	890	14.0	760	212.0	885	13.8	890	30.0
4**	565	8.61	465	8.72	445	7.93	610	8.0
5	1,090	29.9	1,055	45.0	1,300	17.5	1,315	34.9
6	1,635	24.0	265	38.0	1,530	19.9	1,690	23.7
7**	1,690	24.6	545	45.5	1,480	17.2	1,750	21.6
8	1,340	15.8	250	66.3	1,115	33.0	1,200	27.1
9	890	22.7	420	26.9	655	26.4	1,100	31.6
10	1,055	12.5	920	13.7	1,065	12.4	1,400	16.4
11	1,570	20.1	595	12.8	1,470	22.3	1,660	23.5
12	1,230	14.1	680	25.2	1,290	17.1	1,405	19.2
13	755	12.3	365	80.9	630	8.2	635	10.2
14	1,195	26.8	440	83.9	1,260	22.3	1,300	24.0
15	485	5.2	640	9.7	1,140	11.4	1,145	11.0
16	1,535	17.3	690	59.4	1,670	19.4	1,680	20.1
17	1,365	14.0	580	33.2	1,635	20.0	1,640	20.4
18	1,080	16.4	1,140	20.0	1,575	23.4	1,600	25.5

หมายเหตุ : \* on ramp

\*\* off ramp

ผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยเวลาที่สูญเสียชีวิตในการเดินทางโดยแบ่งแยกตามระดับความรุนแรงของการเกิดอุบัติเหตุ

เวลาที่สูญเสียชีวิตในการเดินทาง คือ ผลรวมของระยะเวลาที่เข้าถึง ณ จุดเกิดเหตุ และระยะเวลาที่ใช้ในการจัดการพื้นที่เกิดเหตุ ดังแสดงในตารางที่ 3 และตารางที่ 4



**ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์เวลาที่สูญหายไปในการเดินทาง**

ระดับความรุนแรง	ระยะเวลาที่เข้าถึง ณ จุดเกิดเหตุ (นาที)	ระยะเวลาที่ใช้ในการจัดการ พื้นที่เกิดเหตุ (นาที)	รวมเวลาที่สูญเสีย (นาที)
บาดเจ็บ	9.5	23.5	33
ทรัพย์สินเสียหายอย่างเดียว	9	21	30

**ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์เวลาที่สูญหายไปในการเดินทางของกรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม ปี 2550**

ระดับความรุนแรง	ระยะเวลาที่เข้าถึง ณ จุดเกิดเหตุ (นาที)	ระยะเวลาที่ใช้ในการจัดการ พื้นที่เกิดเหตุ (นาที)	รวมเวลาที่สูญเสีย (นาที)
เสียชีวิต	14	32.5	46.5
บาดเจ็บรุนแรง	14	25	39
บาดเจ็บเล็กน้อย	14	20	34
ทรัพย์สินเสียหายอย่างเดียว	14	17.5	31.5

**ผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย Indirect Cost (บาท/นาที) ในแต่ละช่วงเวลา**

ในการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย Indirect Cost (บาท/นาที) ในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า 06.00-09.00 น. ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน 09.00-16.00 น. ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น 16.00-20.00 น. ดังแสดงในตารางที่ 5

**ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย Indirect Cost (บาท/นาที) ในแต่ละช่วงเวลา**

ช่วงเวลา	Indirect Cost (บาท/นาที)
เร่งด่วนเช้า	3,803
เร่งด่วนเย็น	4,593
นอกเวลาเร่งด่วน	4,717

**ผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย Indirect Cost (บาท/ครั้ง) โดยแบ่งแยกตามระดับความรุนแรง**

จากผลการวิเคราะห์มูลค่าความล่าช้าในการเดินทางอันเนื่องมาจากอุบัติเหตุแต่ละครั้ง โดยแบ่งแยกตามความรุนแรงของการเกิดอุบัติเหตุ ดังแสดงผลในตารางที่ 6 และผลการวิเคราะห์มูลค่าความล่าช้าในการเดินทางอันเนื่องมาจากอุบัติเหตุแต่ละครั้งของโครงการศึกษามูลค่าอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม ปี 2550 ดังแสดงในตารางที่ 7

**ตารางที่ 6** ผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย Indirect Cost (บาท/ครั้ง) และ Indirect Cost (บาท/นาที) โดยแบ่งแยกตามระดับความรุนแรง

ระดับความรุนแรง	Indirect Cost (บาท/ครั้ง)	Indirect Cost (บาท/นาที)
บาดเจ็บ	169,892	5,073
ทรัพย์สินเสียหายอย่างเดียว	102,200	3,166

หมายเหตุ : กรณีการเสียชีวิต ไม่ได้แสดง เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลและการเกิดเหตุเกิดที่ไหลทาง จึงทำให้ไม่ได้รับผลกระทบกับสภาพจราจรทำให้เกิดคอขวด

**ตารางที่ 7** ผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย Indirect Cost บาท/ครั้ง ของกรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม ปี 2550

ระดับความรุนแรง	มูลค่าความล่าช้าในการเดินทางอันเนื่องมาจากอุบัติเหตุแต่ละครั้ง (บาท)
เสียชีวิต	290,889
บาดเจ็บรุนแรง	204,621
บาดเจ็บเล็กน้อย	155,518
ทรัพย์สินเสียหายอย่างเดียว	133,488

### อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์มูลค่าความสูญเสียทางอ้อม (Indirect Cost) อันเนื่องมาจากมูลค่าความล่าช้าในการเดินทางของอุบัติเหตุแต่ละครั้ง โดยแบ่งแยกตามความรุนแรงของการเกิดอุบัติเหตุ จากตารางที่ 6 พบว่ากรณีบาดเจ็บมีค่า Indirect Cost สูงกว่ากรณีทรัพย์สินเสียหายอย่างเดียว ซึ่งมีผลการวิเคราะห์ไปในทิศทางเดียวกันกับของกรมทางหลวง ในตารางที่ 7 และเมื่อเปรียบเทียบกับของกรมทางหลวง พบว่าความแตกต่างของมูลค่าความสูญเสีย ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เข้าถึง ณ จุดเกิดเหตุ ซึ่งจากข้อมูลตารางที่ 3 และตารางที่ 4 พบว่าผลการวิเคราะห์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ กรณีบาดเจ็บมีค่าเฉลี่ย Indirect Cost มากกว่ากรณีทรัพย์สินเสียหายอย่างเดียว และเนื่องจากการทางพิเศษแห่งประเทศไทยใช้ระยะเวลาในการเข้าถึงจุดเกิดเหตุได้น้อยกว่าของกรมทางหลวง จึงสามารถใช้เวลาในการจัดการพื้นที่ที่เกิดเหตุและการเคลื่อนย้ายได้เร็วกว่า ส่งผลทำให้ได้ค่าเฉลี่ย Indirect Cost น้อยกว่าของกรมทางหลวง

จากการวิเคราะห์การเกิดอุบัติเหตุบนทางพิเศษกาญจนาภิเษก (บางพลี-สุขสวัสดิ์) ในช่วงเวลาต่าง ๆ จากตารางที่ 6 พบว่าช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าได้ค่าเฉลี่ย Indirect Cost น้อยกว่าช่วงเวลาเร่งด่วนเย็นและนอกเวลาเร่งด่วนตามลำดับ จากผลการวิจัยในช่วงเวลานอกเร่งด่วนมีค่าเฉลี่ยของมูลค่าความสูญเสียทางอ้อมมากกว่าช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและเร่งด่วนเย็น เนื่องจากมีการลดความจุของถนนลงอย่างฉับพลัน ทำให้มีการชะลอตัวของกระแสจราจรและเกิดแถวคอย เมื่อมีอัตราการไหลและความหนาแน่นสูง การเกิดปรากฏการณ์คอขวดทำให้รถต้องลดความเร็วลงอย่างต่อเนื่อง

งานวิจัยนี้ ไม่ได้นำข้อมูลในทิศทางจราจรฝั่งตรงข้ามกับอุบัติเหตุมาทำการวิเคราะห์ในครั้งนี้อย่างไรก็ตาม แต่จะกล่าวไว้เพื่อเป็นแนวทางให้กับผู้ที่สนใจจะทำงานวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบด้านต้นทุนทางอ้อมด้านเวลาจากอุบัติเหตุต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ กองวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมระบบทางพิเศษ การทางพิเศษแห่งประเทศไทย อย่างสูงที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิจัยในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. โครงการศึกษามูลค่าอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2550.

การทางพิเศษแห่งประเทศไทย. โครงการศูนย์การจราจรอัจฉริยะบนทางพิเศษกาญจนาภิเษก (ITS Center) ระยะที่ 2; 2556

ฉพล ศรีศักดิ์. การประมาณความยาวแถวคอย โดยการประยุกต์กราฟปริมาณการจราจรสะสมและการวิเคราะห์คลื่นกระแทก. [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2555.

ปกรณ ตั้งจาดูโรโสภณ. การศึกษาจุดคอขวดบนเส้นทางสายหลักในช่วงเทศกาลวันหยุดยาว : กรณีศึกษาถนนมิตรภาพ ช่วง นครราชสีมา – ขอนแก่น. [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง]. นครราชสีมา: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2557.

ศิริลล ศิริธร. วิศวกรรมจราจร (Traffic Engineering). เอกสารประกอบการสอนรายวิชาวิศวกรรมขนส่ง (Transportation Engineering) นครราชสีมา : สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2556.

สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์. วิศวกรรมจราจร (Traffic Engineering). เอกสารประกอบการสอนรายวิชา วิศวกรรมขนส่ง (Transportation Engineering) ชลบุรี : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา; 2551.

สำนักแผนงาน กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. โครงการศึกษาจัดทำมาตรฐานการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายผู้ใช้งาน. สถาบันการขนส่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2561.

May. A.D. Traffic Flow Fundamental. Prentice-Hall, New Jersey; 1990.

S.P. Hoogendoorn. Traffic Flow Theory & Simulation. Lecture; 2010.