

บทที่ 4 วิศวกรรมจราจร (Traffic Engineering)

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึง ความหมายของวิศวกรรมจราจร ตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์กระแสจราจร ความสัมพันธ์พื้นฐานของตัวแปรที่อธิบายกระแสจราจร ระดับการให้บริการ การสำรวจข้อมูลจราจร และการออกแบบสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยก

“ไม่ควรคิดถึงสิ่งที่ล่วงไปแล้ว ไม่ควรหวังในสิ่งที่ยังมาไม่ถึง”

ภทเทกรัตตสูตร ๑๔/๒๕๗

4.1. นิยามของวิศวกรรมจราจร

วิศวกรรมขนส่ง (Transportation Engineering) คือ การประยุกต์หลักการที่เป็นวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีด้านการขนส่งเข้าด้วยกัน เพื่อการวางแผน ออกแบบ ดำเนินการ และบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานของระบบขนส่งประเภทต่างๆ ที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายคนและสิ่งของ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความปลอดภัย รวดเร็ว สะดวกสบาย ประหยัด และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Institute of Transportation Engineers, 1999) ขอบข่ายงานวิศวกรรมขนส่งที่สำคัญอย่างมากสาขาหนึ่ง ได้แก่ วิศวกรรมจราจร (Traffic Engineering) โดยนิยาม วิศวกรรมจราจร คือ สาขาหนึ่งของวิศวกรรมขนส่งที่เกี่ยวข้องกับการวางแผน การออกแบบทางเรขาคณิตและการควบคุมกระแสจราจรของถนนย่อย ถนนหลัก ทางหลวง โครงข่ายถนน สถานี พื้นที่โดยรอบถนน และความสัมพันธ์ระหว่างการขนส่งประเภทต่างๆ ที่มาใช้เส้นทางร่วมกัน

นอกจากนี้วิศวกรรมจราจรยังรวมถึงการศึกษาพฤติกรรมผู้ใช้รถใช้ถนนของผู้เดินทาง ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของถนนและพฤติกรรมของผู้ขับขี่ และปฏิสัมพันธ์ต่อกันระหว่างยานแต่ละคันในกระแสจราจร ทั้งนี้ ผู้อ่านอาจคิดว่างานด้านวิศวกรรมจราจรนั้น เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของยานประเภทต่างๆ ซึ่งถือได้ว่าเป็นวัตถุ ที่วิ่งอยู่บนถนนหรือในกระแสจราจร แต่ในความเป็นจริง การเคลื่อนที่ของยานเหล่านั้น ล้วนเกิดจากการควบคุมของมนุษย์ซึ่งเป็นคนขับทั้งสิ้น ด้วยเหตุนี้ การศึกษาและขอบข่ายงานด้านวิศวกรรมจราจรจึงต้องเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมและการตัดสินใจของมนุษย์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

เนื่องจากยานแต่ละคันที่เคลื่อนที่ไปบนถนนนั้น เมื่อรวมกันหลายๆ คันก็จะมีจำนวนมาก และกลายเป็นกระแสของยาน หรือกระแสจราจร (Traffic stream) ยานที่อยู่ในกระแสจราจรนี้จะมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันเนื่องจากยานเหล่านั้น อยู่ในกระแสจราจรในลักษณะวิ่งตามกันด้วยเหตุนี้ เมื่อยานที่วิ่งนำหน้าทำการเบรกหรือเปลี่ยนช่องจราจร ยานที่วิ่งตามมาก็จะต้อง

ทำการเบรกตามไปด้วย หรือเมื่อขบวนที่วิ่งนำหน้าทำการเร่งความเร็ว ก็อาจทำให้ขบวนที่วิ่งตามมา เพิ่มความเร็วตามไปด้วย เหล่านี้คือตัวอย่างของปฏิสัมพันธ์ต่อกันของขบวนในกระแสจราจร ซึ่งจะเห็นได้ว่า พฤติกรรมการขับขี่และการตัดสินใจของคนขับในขบวนคันหนึ่ง จะมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมและการตัดสินใจของขบวนคันอื่นๆ บนท้องถนน ไม่มากก็น้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างกันของขบวนในกระแสจราจร

4.2. ตัวแปรที่ใช้อธิบายกระแสจราจร

ในการศึกษาและวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของกระแสจราจรนั้น จำเป็นต้องเข้าใจลักษณะพื้นฐานของสภาพการจราจร ซึ่งสามารถทำได้โดยกำหนดตัวแปรที่เหมาะสมที่สามารถใช้อธิบายลักษณะพื้นฐานของการเคลื่อนของขบวนเหล่านั้น ตัวแปรสำคัญที่นิยมใช้บ่งบอกลักษณะของกระแสจราจรได้แก่ ปริมาณจราจรและอัตราการไหล (Traffic volume and Rate of flow) ความเร็วและเวลาในการเดินทาง (Speed and Travel time) ความหนาแน่นและการครอบครองผิวจราจร (Density and Occupancy) ระยะห่าง (Spacing) และช่วงห่าง (Headway) โดยตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ในระดับมหภาค (Macroscopic parameters) ได้แก่ ปริมาณจราจรและอัตราการไหล ความเร็ว และความหนาแน่น สำหรับตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ในระดับจุลภาค (Microscopic parameters) ได้แก่ ความเร็วของขบวนแต่ละคัน ระยะห่าง และช่วงห่าง

4.2.1. ปริมาณจราจรและอัตราการไหล (Traffic volume and Rate of flow)

ปริมาณจราจร คือ จำนวนขบวนที่เคลื่อนผ่านตำแหน่งอ้างอิงบนถนน ช่องจราจร หรือทิศทางจราจรในช่วงเวลาที่กำหนด โดยทั่วไปมีหน่วยเป็น คันต่อหน่วยเวลา เช่น คันต่อวัน หรือคันต่อชั่วโมง เป็นต้น สำหรับอัตราการไหลโดยทั่วไปจะมีหน่วยเป็น คันต่อชั่วโมง แต่ปริมาณจราจรที่แสดงนี้ จะเป็นตัวแทนของการไหลของกระแสจราจรในช่วงเวลาที่น้อยกว่าหนึ่งชั่วโมง ดังแสดงตัวอย่างในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณจราจรและอัตราการไหล

ช่วงเวลา	ปริมาณจราจรในช่วงเวลาย่อย (คัน)	อัตราการไหลในช่วงเวลาย่อย (คันต่อชั่วโมง)
5:00-5:15 PM	1,000	$1,000/0.25 = 4,000$
5:15-5:30 PM	1,100	$1,100/0.25 = 4,400$
5:30-5:45 PM	1,200	$1,200/0.25 = 4,800$
5:45-6:00 PM	900	$900/0.25 = 3,600$
5:00-6:00 PM	รวม 4,200	$4,200 \text{ vph} = \text{Hourly volume}$

ที่มา: ดัดแปลงจาก Roess, Prassas, and McShane (2004)

จากตารางที่ 4.1 จะพบว่าในช่วงเวลา 15 นาทีแรก (ระหว่าง 5:00 PM ถึง 5:15 PM) ปริมาณจราจรที่นับได้เท่ากับ 1,000 คัน ช่วงเวลา 15 นาที หรือ 0.25 ชั่วโมง นี้ จะมีอัตราการไหล (Flow rate) เท่ากับ $1,000/0.25$ เท่ากับ 4,000 คันต่อชั่วโมง ในช่วงเวลา 15 นาที อื่นๆ ที่เหลือก็คำนวณในลักษณะเดียวกัน ค่าอัตราการเคลื่อนตัวของรถยนต์ที่คำนวณได้ในแต่ละช่วงเวลาย่อย 15 นาทีนี้ เรียกว่า อัตราการไหล ถ้าเรารวมปริมาณจราจรทั้งหมดของแต่ละช่วงเวลาย่อยเข้าด้วยกันจะมีค่าเท่ากับ 4,200 คัน ดังนั้นในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง จะมีปริมาณจราจรวิ่งผ่านช่วงถนนที่เราศึกษาเท่ากับ 4,200 คัน คิดเป็นปริมาณจราจร (Volume) เท่ากับ 4,200 คันต่อชั่วโมง

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์การเกิดแถวคอยจากตัวอย่างในตาราง 4.1

ช่วงเวลา	รถยนต์ที่วิ่งเข้าสู่ระบบ (คัน)	รถยนต์ที่วิ่งออกจากระบบ (คัน)	ขนาดของแถวคอย ณ จุดสิ้นสุดของช่วงเวลา (คัน)
5:00-5:15 PM	1,000	1,050	0
5:15-5:30 PM	1,100	1,050	$0 + 1,100 - 1,050 = 50$
5:30-5:45 PM	1,200	1,050	$50 + 1,200 - 1,050 = 200$
5:45-6:00 PM	900	1,050	$200 + 900 - 1,050 = 50$

ที่มา: ดัดแปลงจาก Roess, Prassas, and McShane (2004)

จากตารางที่ 4.1 ถ้าความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรของช่วงถนนที่ศึกษาเท่ากับ 4,200 คันต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา 5:15-5:30 PM และ 5:30-5:45 PM นั้น มีปริมาณจราจรสูงกว่าความสามารถที่ถนนช่วงดังกล่าวจะรองรับได้ สภาพดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดแถวคอยขึ้นในระบบ ถ้าเฉลี่ยความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรออกเป็นค่าสำหรับแต่ละช่วงเวลาย่อย จะได้ปริมาณจราจรสูงสุดที่ถนนช่วงนี้สามารถรองรับได้ในแต่ละช่วงเวลา 15 นาที เท่ากับ $4,200/4$ เท่ากับ 1,050 คันต่อชั่วโมง นั่นคือ ถนนช่วงนี้มีความสามารถรองรับและระบายรถยนต์ออกจากระบบได้เท่ากับ 1,050 คันต่อชั่วโมง ในช่วงเวลาย่อย 15 นาที ซึ่งเป็นค่าคงที่ ขณะที่ความต้องการใช้ถนนของรถยนต์ที่วิ่งเข้ามาในระบบนั้น มีค่าที่แปรผันไปตามช่วงเวลา ด้วยเหตุนี้ เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.2 พบว่า จะเกิดแถวคอยขึ้นเท่ากับ 50 200 และ 50 คัน ในช่วงเวลา 5:15-5:30 PM 5:30-5:45 PM และ 5:45-6:00 PM ตามลำดับ

ข้อมูลจากตารางที่ 4.1 ยังสามารถนำไปใช้คำนวณหาค่าตัวประกอบชั่วโมงสูงสุด (Peak hour factor, *PHF*) ได้จากสมการต่อไปนี้

$$PHF = \frac{\text{Hourly volume}}{\text{Max. rate of flow}} \tag{4.1}$$

สำหรับช่วงเวลามาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ 15 นาที จะได้

$$PHF = \frac{V}{4 \times V_{m15}} \quad (4.2)$$

โดยที่ V = ปริมาณจราจรรายชั่วโมง (Hourly volume) หน่วย คัน (veh)
 V_{m15} = ปริมาณจราจรสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาย่อย 15 นาที ใดๆ ภายในชั่วโมงที่สำรวจข้อมูล หน่วย คัน (veh)

ดังนั้น จากตัวอย่างในตารางที่ 4.1 จะได้

$$PHF = \frac{4,200}{4 \times 1,200} = 0.875$$

ในกรณีที่ทราบค่า PHF และปริมาณจราจรรายชั่วโมง เราสามารถประมาณค่าปริมาณจราจรสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลาย่อย 15 นาที ใดๆ ในชั่วโมงที่เราทำการสำรวจข้อมูลได้จากสมการต่อไปนี้

$$v = \frac{V}{PHF} \quad (4.3)$$

โดยที่ v = ค่าประมาณของปริมาณจราจรสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลาย่อย 15 นาที ใดๆ ในชั่วโมงที่ทำการสำรวจข้อมูล หน่วย คันต่อชั่วโมง (veh/h)
 V = ปริมาณจราจรรายชั่วโมง (Hourly volume) หน่วย คันต่อชั่วโมง (veh/h)

ค่า PHF สามารถนำไปใช้ในการออกแบบสัญญาณไฟจราจร และวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรของทางแยกและถนน ค่า PHF สูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้เท่ากับ 1.00 ซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่ปริมาณจราจรคงที่ในทุกช่วงเวลา โดยทั่วไป PHF จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.70 สำหรับถนนนอกเมือง ถึง 0.98 สำหรับถนนที่มีการจราจรหนาแน่นในเมือง

ปริมาณจราจรที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มการขยายตัวของความต้องการใช้ถนนจะอยู่ในรูปของปริมาณจราจรรายวัน (Daily volume) มีปริมาณจราจรรายวัน 4 ประเภทที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมจราจร

- ค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรรายวันตลอดปี (Average annual daily traffic, $AADT$) คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรใน 24 ชั่วโมง ณ ตำแหน่งหรือช่วงถนนที่กำหนดตลอดระยะเวลา 365 วัน หาได้จากการ

นำจำนวนรถยนต์ที่วิ่งผ่านตำแหน่งหรือช่วงถนนที่กำหนดในระยะเวลา 1 ปีหารด้วย 365 วัน (หรืออาจเป็น 366 วัน สำหรับปีอธิกสุรทินที่เดือนกุมภาพันธ์มี 29 วัน)

- ค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรรายสัปดาห์ตลอดปี (Average annual weekday traffic, *AAWT*) คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรใน 24 ชั่วโมง ที่นับได้ในวันที่อยู่ระหว่างสัปดาห์ (วันจันทร์-วันศุกร์) ตลอดระยะเวลา 365 วัน หาได้จากการนำจำนวนรถยนต์ที่วิ่งผ่านตำแหน่งหรือช่วงถนนที่กำหนดระหว่างวันจันทร์ถึงวันศุกร์ในระยะเวลา 1 ปี หารด้วยจำนวนวันที่อยู่ในช่วงสัปดาห์ใน 1 ปี (โดยทั่วไปจะใช้ 260 วัน)
- ค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรรายวัน (Average daily traffic, *ADT*) คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรใน 24 ชั่วโมง ณ ตำแหน่งหรือช่วงถนนที่กำหนดตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษาข้อมูลซึ่งน้อยกว่า 1 ปี โดยมากจะวัดเป็นค่า *ADT* ของแต่ละเดือนใน 1 ปี
- ค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรรายสัปดาห์ (Average weekday traffic, *AWT*) คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรใน 24 ชั่วโมง ณ ตำแหน่งหรือช่วงถนนที่กำหนดของวันระหว่างสัปดาห์ตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษาข้อมูลซึ่งน้อยกว่า 1 ปี โดยมากจะวัดเป็นค่า *AWT* ของแต่ละเดือนใน 1 ปี

ปริมาณจราจรตามที่อธิบายข้างต้น มีหน่วยเป็น คันต่อวัน (veh/day) โดยทั่วไป ปริมาณจราจรรายวันจะพิจารณาเป็นค่ารวมตลอดทั้งช่วงถนนที่ศึกษา จะไม่จำแนกตามทิศทาง หรือช่องจราจร ตัวอย่างการคำนวณปริมาณจราจรรายวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณจราจรรายวัน

1. เดือน	2. จำนวนวันในช่วง สัปดาห์ของแต่ละ เดือน (วัน)	3. จำนวนวันทั้งหมด ของแต่ละเดือน (วัน)	4. จำนวนรถยนต์ทั้งหมดที่ นับได้ในแต่ละเดือน (คัน)	5. จำนวนรถยนต์ทั้งหมดที่นับได้ใน วันระหว่างสัปดาห์ของแต่ละเดือน (คัน)	6. <i>AWT</i> (5/2) (คันต่อวัน)	7. <i>ADT</i> (4/3) (คันต่อวัน)
มกราคม	22	31	425,000	208,000	9,455	13,710
กุมภาพันธ์	20	28	410,000	220,000	11,000	14,643
มีนาคม	22	31	385,000	185,000	8,409	12,419
เมษายน	22	30	400,000	200,000	9,091	13,333
พฤษภาคม	21	31	450,000	215,000	10,238	14,516
มิถุนายน	22	30	500,000	230,000	10,455	16,667
กรกฎาคม	23	31	580,000	260,000	11,304	18,710
สิงหาคม	21	31	570,000	260,000	12,381	18,387
กันยายน	22	30	490,000	205,000	9,318	16,333
ตุลาคม	22	31	420,000	190,000	8,636	13,548
พฤศจิกายน	21	30	415,000	200,000	9,524	13,833
ธันวาคม	22	31	400,000	210,000	9,545	12,903
รวม	260	365	5,445,000	2,583,000	-	-

ที่มา: ดัดแปลงจาก Roess, Prassas, and McShane (2004)

จากตารางที่ 4.3 จะได้

$$AADT = 5,445,000/365 = 14,918 \text{ คันต่อวัน}$$

$$AAWT = 2,583,000/260 = 9,935 \text{ คันต่อวัน}$$

ในการออกแบบ ค่าปริมาณจราจรสูงสุดรายชั่วโมง (Peak-hour volumes) สามารถประมาณได้จากค่า *AADT* โดยจะพิจารณาทิศทางที่เกิดปริมาณจราจรสูงสุด ค่าดังกล่าวได้แก่ ปริมาณจราจรรายชั่วโมงสำหรับออกแบบจำแนกทิศทาง (Directional design hour volume, *DDHV*) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$DDHV = AADT \times K \times D \tag{4.4}$$

โดยที่ *K* = ค่าสัดส่วนของปริมาณจราจรรายวันที่เกิดขึ้นในชั่วโมงที่มีปริมาณจราจรสูงสุด

D = ค่าสัดส่วนของปริมาณจราจรในชั่วโมงที่มีปริมาณจราจรสูงสุดที่เดินทางในทิศทางที่มีปริมาณจราจรสูงสุดเกิดขึ้น

ค่าของ *K* และ *D* แปรผันตามลักษณะของพื้นที่ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่า *K* และ *D*

ประเภทถนน	ช่วงของค่า	
	<i>K</i> -factor	<i>D</i> -factor
ถนนชนบท	0.15-0.25	0.65-0.80
ถนนชานเมือง	0.12-0.15	0.55-0.65
ถนนในเมือง		
- ถนนตามแนวรัศมี	0.07-0.12	0.55-0.60
- ถนนตามเส้นรอบวง	0.07-0.12	0.50-0.55

ที่มา: ดัดแปลงจาก Roess, Prassas, and McShane (2004)

สมมติว่าในการออกแบบทางหลวงชนบทเส้นทางหนึ่ง จากการสำรวจข้อมูลวิเคราะห์ได้ค่าคาดการณ์ของ *AADT* ในอีก 20 ปี ข้างหน้า เท่ากับ 30,000 คันต่อวัน จากตารางที่ 4.4 สามารถหาช่วงของค่า *DDHV* ที่ใช้ในการออกแบบได้จากช่วงของค่า *K* และ *D* ดังนี้

$$DDHV_{LOW} = 30,000 \times 0.15 \times 0.65 = 2,925 \text{ คันต่อชั่วโมง}$$

$$DDHV_{HIGH} = 30,000 \times 0.25 \times 0.80 = 6,000 \text{ คันต่อชั่วโมง}$$

4.2.2. ความเร็วและเวลาในการเดินทาง (Speed and Travel time)

โดยนิยามแล้ว ความเร็ว คือ อัตราการเคลื่อนที่ในหน่วยระยะทางต่อเวลา หรือคือส่วนกลับของเวลาที่ขบวนใช้ในการเคลื่อนที่ในระยะทางที่กำหนด คุณด้วยระยะทางนั้น โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$s = \frac{d}{t} \tag{4.5}$$

โดยที่ s = ความเร็ว หน่วย ไมล์ต่อชั่วโมง (mph) กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/h) หรือฟุตต่อวินาที (fps)

d = ระยะทางที่เดินทางได้ หน่วย ไมล์ (mi) กิโลเมตร (km) หรือ ฟุต (f)

t = เวลาที่ใช้ในการเดินทาง หน่วย ชั่วโมง (h) หรือ วินาที (s)

ในกระแสรถจร ขบวนแต่ละคันจะวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน การอธิบายคุณสมบัติความเร็วของกระแสรถจรจึงใช้ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วของขบวนในกระแสรถจร ในการอธิบายคุณสมบัติดังกล่าว และจำเป็นต้องใช้ค่าความเร็วเฉลี่ยเป็นตัวแทนความเร็วของขบวนทั้งหมดในกระแสรถจร สำหรับอธิบายลักษณะของกระแสรถจรนั้น

4.2.2.1. Time mean speed และ Space mean speed

ความเร็วเฉลี่ยสามารถคำนวณหาได้ 2 วิธี และให้ค่าที่แตกต่างกัน ได้แก่

- Time mean speed (*TMS*) คือ ค่าเฉลี่ยความเร็วของขบวนทั้งหมดที่วิ่งผ่านตำแหน่งใดๆ บนถนนหรือช่องจราจรในช่วงเวลาที่กำหนด
- Space mean speed (*SMS*) คือ ค่าเฉลี่ยความเร็วของขบวนทั้งหมดที่ครอบครองช่วงถนนที่พิจารณาในช่วงเวลาที่กำหนด

TMS และ *SMS* คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$TMS = \frac{\sum_i \frac{d}{t_i}}{n} \tag{4.6}$$

$$SMS = \frac{d}{\frac{\sum_i t_i}{n}} = \frac{nd}{\sum_i t_i} \tag{4.7}$$

โดยที่ n = จำนวนข้อมูลเวลาในการเดินทางที่สังเกตได้
 d = ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ หน่วย ไมล์ (mi) กิโลเมตร (km) หรือ ฟุต (f)
 t_i = เวลาที่ใช้ในการเดินทางของยานคันที่ i หน่วย ชั่วโมง (h) หรือ วินาที (s)

จากหลักคณิตศาสตร์ TMS เป็นการหาค่าเฉลี่ยในลักษณะของค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean) และ SMS เป็นการหาค่าเฉลี่ยในลักษณะค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก (Harmonic mean) ในการวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมจราจรส่วนมากจะใช้ค่า SMS เป็นหลัก ตัวอย่างของการคำนวณค่าเฉลี่ยทั้งสองแบบดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างการคำนวณ TMS และ SMS

รถคันที่	ระยะทาง d (ft)	เวลาในการเดินทาง t (s)	ความเร็ว (ft/s)
1	1,000	18.0	1,000/18 = 55.6
2	1,000	20.0	1,000/20 = 50.0
3	1,000	22.0	1,000/22 = 45.5
4	1,000	19.0	1,000/19 = 52.6
5	1,000	20.0	1,000/20 = 50.0
6	1,000	20.0	1,000/20 = 50.0
รวม	6,000	119	303.7
เฉลี่ย	6,000/6 = 1,000	119/6 = 19.8	303.7/6 = 50.6

ที่มา: ดัดแปลงจาก Roess, Prassas, and McShane (2004)

จากตารางที่ 4.5 จะได้ $TMS = 50.6$ ft/s

และ $SMS = 1,000/19.8 = 50.4$ ft/s

4.2.2.2. ความเร็วเดินทางเฉลี่ยและความเร็ววิ่งเฉลี่ย (Average travel speed and Average running speed)

ความเร็วเดินทางเฉลี่ยและความเร็ววิ่งเฉลี่ย เป็นค่าเฉลี่ยของความเร็วในรูปของ Space mean speed ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมจราจร ค่าเฉลี่ยทั้งสองแบบ มีวิธีการคำนวณ

เหมือนกัน โดยการนำระยะทางมาหารด้วยค่าเฉลี่ยของเวลาที่ยวดยานทั้งหมดเคลื่อนที่ในช่วงถนนที่กำหนด แต่จะแตกต่างกันที่องค์ประกอบของเวลาที่นำมาใช้ในการคำนวณ ซึ่งได้แก่ เวลาในการเดินทาง และเวลารถวิ่ง

เวลาในการเดินทาง (Travel time) คือ เวลาทั้งหมดที่ยวดยานใช้ในการเดินทางในช่วงถนนหรือระยะทางที่กำหนด ขณะที่ เวลารถวิ่ง (Running time) คือ เวลาทั้งหมดเฉพาะช่วงที่รถวิ่งที่ใช้ในการเดินทางในช่วงถนนหรือระยะทางที่กำหนด ความแตกต่างกันระหว่างเวลาทั้งสองประเภทนี้คือ กรณีเวลารถวิ่ง จะไม่นำความล่าช้าที่เกิดจากการหยุดรถ (Stopped delays) มาพิจารณาเป็นเวลาที่ใช้ในการเดินทาง ขณะที่เวลาในการเดินทาง จะนำความล่าช้าดังกล่าวมาพิจารณาร่วมด้วย ดังนั้น ความเร็วเดินทางเฉลี่ย จะอ้างอิงกับเวลาในการเดินทางเฉลี่ย และความเร็วรถวิ่งเฉลี่ย จะอ้างอิงกับเวลารถวิ่งเฉลี่ย

พิจารณากรณีตัวอย่างดังต่อไปนี้ สมมติให้รถยนต์คันหนึ่งวิ่งไปบนถนนช่วงหนึ่งซึ่งมีความยาว 1 กิโลเมตร ใช้เวลาในการเดินทางตลอดช่วงถนนนี้ทั้งสิ้น 3 นาที ระหว่างการเดินทางนี้จำเป็นต้องหยุดรอสัญญาณไฟจราจรเป็นเวลา 1 นาที จากข้อมูลดังกล่าว จะได้

$$\text{ความเร็วเดินทางเฉลี่ย} = \frac{1 \text{ km}}{3 \text{ min}} \times 60 \text{ min/hr} = 20 \text{ km/h}$$

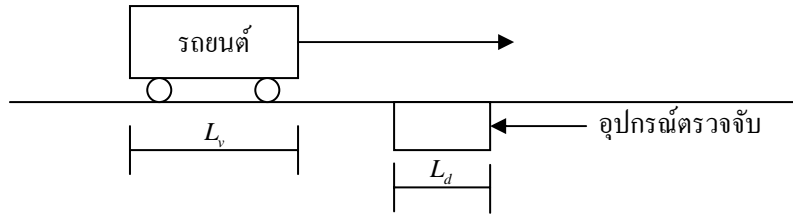
$$\text{ความเร็วรถวิ่งเฉลี่ย} = \frac{1 \text{ km}}{(3-1) \text{ min}} \times 60 \text{ min/hr} = 30 \text{ km/h}$$

จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่า ในกรณีที่ไม่มีรถหยุดระหว่างการเดินทาง เวลาในการเดินทางและเวลารถวิ่งจะมีค่าเท่ากัน ซึ่งจะส่งผลให้ความเร็วเดินทางเฉลี่ยมีค่าเท่ากับความเร็วรถวิ่งเฉลี่ยด้วยเช่นกัน

4.2.3. ความหนาแน่นและการครอบครองผิวจราจร (Density and Occupancy)

ความหนาแน่นของกระแสจราจร คือ จำนวนยวดยานที่ครอบครองพื้นผิวจราจรในช่วงความยาวถนนหรือช่องจราจรที่กำหนด มีหน่วยเป็น คันต่อไมล์ (vpm) หรือคันต่อไมล์ต่อช่องจราจร (vpmppl) ความหนาแน่นกระแสจราจรเป็นค่าที่วัดโดยตรงได้ยาก โดยมากแล้วจะคำนวณได้จากค่าความเร็วเฉลี่ยและอัตราการไหล ดังจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

เนื่องจากความหนาแน่นกระแสจราจรเป็นค่าที่วัดโดยตรงได้ยาก ในทางปฏิบัติจึงวัดความหนาแน่นกระแสจราจรทางอ้อมจากการตรวจสอบการครอบครองผิวจราจรของยวดยานโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับ (Detectors) แทนการวัดค่าโดยตรง โดยนิยามแล้ว การครอบครองผิวจราจร คือ สัดส่วนของเวลาที่อุปกรณ์ตรวจจับถูกรับหรือทาบบานด้วยยวดยานในช่วงเวลาที่ทำการสำรวจข้อมูล



รูปที่ 4.1 ลักษณะการวิ่งผ่านอุปกรณ์ตรวจจับของขบวน

จากรูปที่ 4.1 กำหนดให้ L_v คือ ความยาวเฉลี่ยของขบวน มีหน่วยเป็น ฟุต และ L_d คือ ความยาวของอุปกรณ์ตรวจจับซึ่งส่วนมากจะมีลักษณะเป็น Loop detector ฝังอยู่ในพื้นผิวจราจร และ O คือ ค่าการครอบครองพื้นผิวจราจรของอุปกรณ์ตรวจจับซึ่งหาผ่านโดยขบวน ความหนาแน่นกระแสจราจร (k) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$k = \frac{5,280 \times O}{L_v + L_d} \quad (4.8)$$

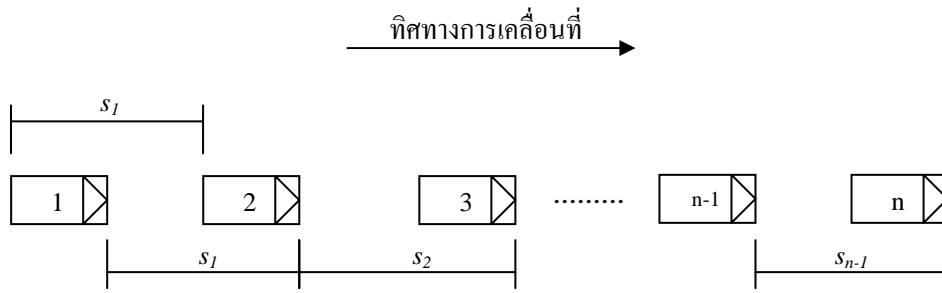
สมมติให้ความยาวเฉลี่ยของขบวนมีค่าเท่ากับ 28 ฟุต ความยาวของอุปกรณ์ตรวจจับเท่ากับ 3 ฟุต และค่าการครอบครองอุปกรณ์ตรวจจับของขบวนในช่วงเวลา 15 นาที เท่ากับ 0.20 ความหนาแน่นกระแสจราจรจะมีค่าเท่ากับ

$$k = \frac{5,280 \times 0.20}{28 + 3} = 34.1 \text{ veh / mi / ln}$$

การครอบครองพื้นผิวจราจรที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจจับที่ฝังอยู่ในพื้นทางในช่องจราจรหนึ่งๆ จะเป็นค่าเฉพาะของแต่ละช่องจราจรนั้น ในกรณีนี้ ความหนาแน่นกระแสจราจรจะมีหน่วยเป็น คันต่อไมล์ต่อช่องจราจร ถ้ามีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับในช่องจราจรข้างเคียงด้วยครบทุกช่องจราจรของถนน จะสามารถนำค่าความหนาแน่นของแต่ละช่องจราจรมารวมกันทำให้ค่าความหนาแน่นที่คำนวณได้มีหน่วยเป็น คันต่อไมล์

4.2.4. ระยะห่างและช่วงห่าง (Spacing and Headway)

ปริมาณจราจร ความเร็ว และความหนาแน่น เป็นค่าที่ใช้อธิบายกระแสจราจรในลักษณะมหภาค (Macroscopic descriptors) การอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของขบวนที่ย่อยลงมาระดับรถแต่ละคันที่วิ่งอยู่ในกระแสจราจร หรือในระดับจุลภาค (Microscopic descriptors) นั้น จะใช้ระยะห่าง (Spacing) และช่วงห่าง (Headway) ในการอธิบายลักษณะของกระแสจราจร

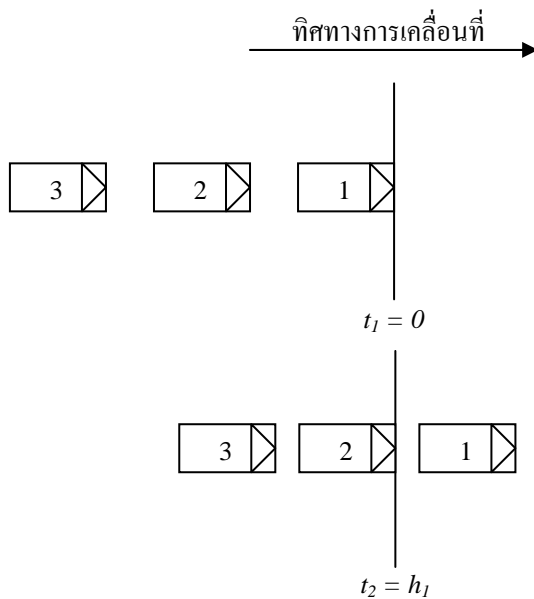


รูปที่ 4.2 ระยะห่างระหว่างขบวนที่วิ่งตามกันในกระแสจราจร

ระยะห่าง (Spacing) คือ ระยะระหว่างขบวน (ส่วนมาก ได้แก่ รถยนต์) ที่วิ่งติดกันมาในกระแสจราจร โดยวัดจากตำแหน่งอ้างอิงที่แน่นอนบนตัวรถคันหนึ่งถึงตำแหน่งเดียวกันบนตัวรถคันถัดไปที่วิ่งตามกันมา อาทิ จากกันชนหน้าถึงกันชนหน้า กันชนท้ายถึงกันชนท้าย หรือเพลาน้ำถึงเพลาน้ำ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของระยะห่างในแต่ละช่องจราจรสามารถคำนวณได้โดยตรงจากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$s_a = \frac{5,280}{k} \quad \text{หรือ} \quad s_a = \frac{1}{k} \quad (4.9)$$

โดยที่ s_a = ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างขบวนในแต่ละช่องจราจร หน่วย ฟุต (ft)
 k = ความหนาแน่นกระแสจราจร หน่วย คันต่อไมล์ต่อช่องจราจร (veh/mi/ln)



รูปที่ 4.3 ช่วงห่างระหว่างขบวนที่วิ่งตามกันในกระแสจราจร

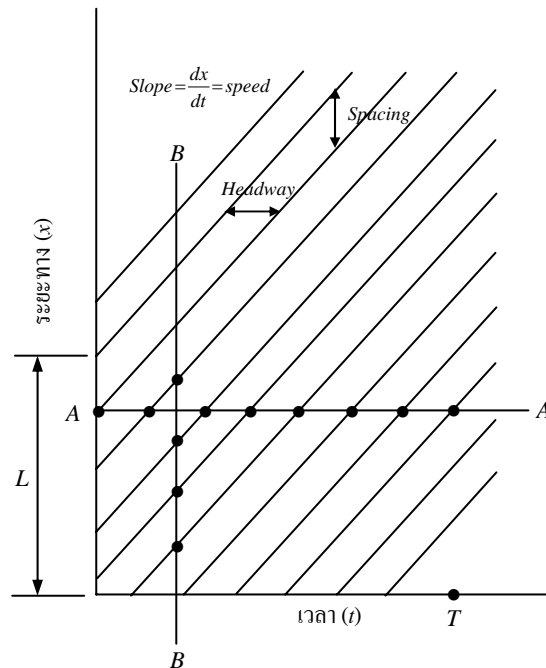
ช่วงห่าง (Headway) คือ ระยะห่างของช่วงเวลาระหว่างขบวนยานที่วิ่งติดกันมาซึ่งผ่านตำแหน่งหรือแนวอ้างอิงที่กำหนดไว้บนถนนหรือช่องจราจร โดยสังเกตจากเวลาที่ตำแหน่งอ้างอิงบนตัวรถคันหนึ่งวิ่งผ่านจุดที่กำหนดไว้ ถึงเวลาที่ตำแหน่งอ้างอิงเดียวกันบนรถคันถัดไปที่วิ่งตามกันมาผ่านจุดที่กำหนดนั้นเช่นกัน ตำแหน่งบนตัวรถที่นิยมใช้ในการอ้างอิง อาทิ กันชนหน้า กันชนท้าย หรือเพลาน้ำ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จากรูปที่ 4.3 พบว่า ช่วงห่างระหว่างรถคันที่ 1 และคันที่ 2 มีค่าเท่ากับ h_1 ค่าเฉลี่ยของช่วงห่างในแต่ละช่องจราจรสามารถคำนวณได้โดยตรงจากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$h_a = \frac{3,600}{q} \quad \text{หรือ} \quad h_a = \frac{1}{q} \quad (4.10)$$

โดยที่ h_a = ช่วงห่างเฉลี่ยระหว่างขบวนยานในแต่ละช่องจราจร หน่วย วินาที (s)
 q = อัตราการไหลของกระแสจราจร หน่วย คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร (veh/h/ln)

4.2.5. แผนภูมิเวลา-ระยะทางของการไหล

ค่าต่างๆ ที่ใช้อธิบายลักษณะของกระแสจราจรตามที่กล่าวไปแล้วนั้น สามารถแสดงในรูปของแผนภูมิเวลา-ระยะทางของการไหล (Time-distance flow diagram) เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์และทำความเข้าใจ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนภูมิเวลา-ระยะทางของการไหล (กรณีการไหลแบบสม่ำเสมอ)

ที่มา: คัดแปลงจาก Papacostas and Prevedouros (2001)

จากรูปที่ 4.4 เส้นตรงแต่ละเส้นที่ลากตามแนวทะแยง ใช้แทนแนวสัญจรของขบวนแต่ละคันที่วิ่งผ่านช่องจราจรในช่วงเวลาที่ทำการสำรวจข้อมูล จากรูปจะเห็นได้ว่าเส้นตรงทุกเส้นขนานกัน แสดงให้เห็นถึงความชันที่เท่ากัน หรืออาจกล่าวได้ว่าขบวนทุกคันวิ่งด้วยความเร็วสม่ำเสมอที่เท่ากัน เนื่องจากความชัน (Slope) จะเท่ากับผลต่างของระยะทางหารด้วยผลต่างของเวลา (dx/dt) ซึ่งก็คือ ความเร็ว นั่นเอง ระยะรียบระหว่างเส้นทะแยงแต่ละคู่ คือ ค่าช่วงห่าง (Headway) ระหว่างขบวนแต่ละคันที่วิ่งตามกันมา ขณะที่ระยะตั้งระหว่างเส้นทะแยงแต่ละคู่ คือ ค่าระยะห่าง (Spacing) ระหว่างขบวนแต่ละคันที่วิ่งตามกันมา

ที่ตำแหน่งใดๆ บนถนนช่วงที่ทำการสำรวจข้อมูล ในที่นี้สมมติให้เป็นตำแหน่ง A และแนว $A-A$ คือ เส้นอ้างอิงสำหรับสำรวจข้อมูลจราจร จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าจำนวนจุดตัดของเส้นทะแยงและแนวเส้นอ้างอิง $A-A$ คือ จำนวนขบวนที่นับได้ในช่วงเวลาที่ทำการสำรวจข้อมูล (T) ซึ่งวิ่งผ่านแนวเส้นอ้างอิง $A-A$ ในทำนองเดียวกัน ถ้ากำหนดให้จุดเวลาใดๆ ซึ่งในที่นี้สมมติให้เป็น ณ เวลา B (แทนด้วยแนว $B-B$) เป็นเวลาอ้างอิงสำหรับสำรวจข้อมูลจราจรบนช่วงถนนที่มีความยาว L แล้ว จำนวนจุดตัดของเส้นทะแยงและแนว $B-B$ จะเป็นจำนวนขบวนทั้งหมดที่นับได้ ณ เวลา B บนช่วงถนนที่ทำการศึกษานั้น

4.3. ความสัมพันธ์พื้นฐานของตัวแปรที่อธิบายกระแสจราจร

สมมติให้ในกระแสจราจรมีระยะห่างระหว่างขบวนเฉลี่ยเท่ากับ s และมีความเร็วเฉลี่ย u_s จากค่าดังกล่าว สามารถคำนวณค่าช่วงห่างได้จาก $h = s/u_s$ และจากสมการ (4.9) และ (4.10) จะได้

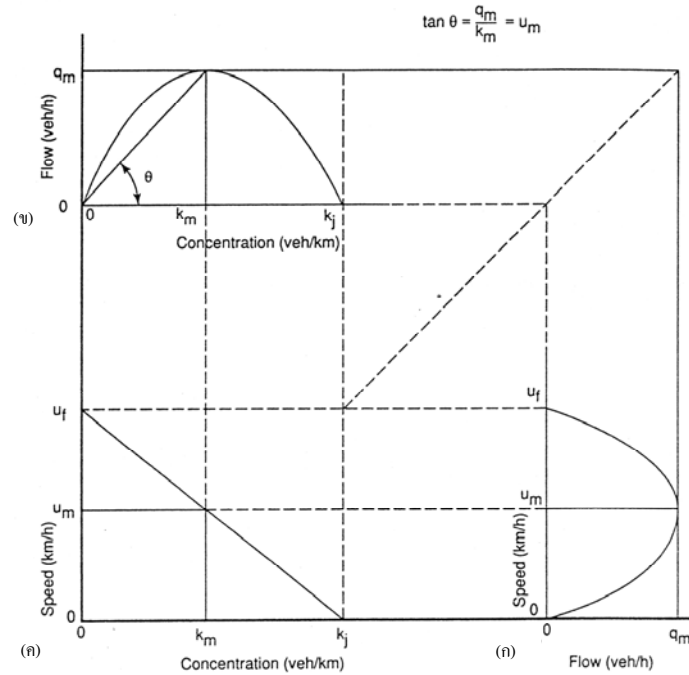
$$\frac{s}{u_s} = \frac{1}{q} \tag{4.11}$$

$$\frac{1/k}{u_s} = \frac{1}{q} \tag{4.12}$$

จะได้

$$q = ku_s \tag{4.13}$$

สมการที่ (4.13) เป็นสมการหลักที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณจราจร ความเร็ว และความหนาแน่นของกระแสจราจร และสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ระบุได้ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจร-ความหนาแน่น ความเร็ว-ปริมาณจราจร และ
ความเร็ว-ความหนาแน่น
ที่มา: คัดแปลงจาก May (1990)

จากรูปที่ 4.5 (ข) และ (ค) ณ จุดที่ปริมาณจราจรและความหนาแน่นกระแสจราจรต่ำ (ประมาณเท่ากับศูนย์) ซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่มีจำนวนรถยนต์บนช่วงถนนที่ทำการศึกษาน้อย สภาพดังกล่าวจะทำให้เกิดค่าความเร็วเฉลี่ยสูงสุด ซึ่งเรียกว่า ความเร็วอิสระ (Free flow speed, u_f) จากรูปที่ 4.5 (ก) และ (ค) ในกรณีที่เกิดสภาพการจราจรติดขัดอย่างมากจนรถยนต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ สภาพการณ์ดังกล่าวจะทำให้ความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรเท่ากับ ศูนย์ และความหนาแน่นกระแสจราจรจะมีค่าเท่ากับ ความหนาแน่นติดขัด (Jam density, k_j) สภาพการณ์เช่นนี้จะทำให้การไหลของกระแสจราจรหรือปริมาณจราจรมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เช่นเดียวกับกรณีที่มีรถยนต์วงน้อย เนื่องจากทั้งสองกรณีจะทำให้มีจำนวนรถยนต์เคลื่อนที่ผ่านจุดสังเกตในช่วงเวลาที่สำรวจข้อมูลน้อยเช่นเดียวกัน

ความสัมพันธ์เชิงเส้นดังแสดงในรูปที่ 4.5 นี้ เกิดจากการสำรวจข้อมูลกระแสจราจรและนำมาเปรียบเทียบเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองสำหรับคาดการณ์และวิเคราะห์สภาพการจราจร Greenshields ได้นำเสนอแบบจำลองความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเร็วและความหนาแน่นในปี ค.ศ. 1934 ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ค) โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$u_s = u_f \left(1 - \frac{k}{k_j} \right) \quad (4.14)$$

อย่างไรก็ดี ในสภาพความเป็นจริง ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นอาจไม่เป็นเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ค) แต่อาจมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อย ด้วยเหตุนี้จึงได้มีผู้นำเสนอแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งได้แก่ Greenberg's logarithmic relationships โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$u_s = a \log_e bk \quad (4.15)$$

ถ้า k_j เท่ากับ $1/b$ จะได้

$$u_s = \frac{a \log_e k}{k_j} \quad (4.16)$$

แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นอีกรูปแบบหนึ่งที่มีผู้นำเสนอ ได้แก่ Underwood's exponential relationships โดยมีรูปแบบสมการดังต่อไปนี้

$$u_s = ae^{-bk} \quad (4.17)$$

ถ้า u_f เท่ากับ a จะได้

$$u_s = u_f e^{-bk} \quad (4.18)$$

จากแบบจำลองทั้งหมดตามที่นำเสนอไปข้างต้นนั้น จะเห็นได้ว่าแบบจำลองของ Greenshields มีรูปแบบที่ง่ายและสะดวกในการใช้งานมากที่สุด พิจารณารูปที่ 4.5 ประกอบ และจากสมการที่ (4.13) และ (4.14) จะได้

$$q = ku_f \left(1 - \frac{k}{k_j} \right) \quad (4.19)$$

ตำแหน่งที่ q มีค่าสูงสุด จะมีความชันเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจากสมการที่ (4.19) จะได้

$$\frac{dq}{dk} = u_f - \frac{2u_f k}{k_j} \quad (4.20)$$

ให้สมการ (4.20) เท่ากับศูนย์ จะได้

$$k_m = \frac{k_j}{2} \tag{4.21}$$

จากสมการ (4.14) และ (4.18) จะได้

$$u_m = \frac{u_f}{2} \tag{4.22}$$

จากสมการ (4.13) (4.21) และ (4.22) จะได้

$$q_m = \frac{k_j u_f}{4} \tag{4.23}$$

จากรูปที่ 4.5 จะพบว่า q_m คือ ปริมาณจราจรสูงสุดที่ถนนช่วงที่ทำการสำรวจข้อมูลจะสามารถรองรับได้ หรืออาจเรียกว่า ความสามารถรองรับปริมาณจราจร (Capacity) ของถนนช่วงนั้นก็ได้

ตัวอย่างที่ 4.1 ในการสำรวจข้อมูลสภาพจราจรตรวจสอบพบรถยนต์ 6 คัน ในช่วงถนนความยาว 600 ฟุต ที่ทำการศึกษา ค่าช่วงห่างเฉลี่ยเท่ากับ 4 วินาที จากข้อมูลดังกล่าว จงหา (1) ความหนาแน่น (2) การไหลของกระแสจราจร และ (3) Space mean speed (Garber and Hoel, 2002)

(1) ความหนาแน่น (Density) มีหน่วยเป็นคันต่อระยะทาง ดังนั้นจึงสามารถหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$k = \frac{N}{L} \tag{4.24}$$

จะได้

$$k = 6 \text{ คัน} / 600 \text{ ฟุต}$$

$$k = 0.01 \text{ คันต่อฟุต}$$

$$k = 52.8 \text{ คันต่อไมล์}$$

(2) การไหลของกระแสจราจร (Flow)

จากสมการ (4.10)

$$h_a = \frac{1}{q}$$

จะได้

$$q = \frac{1}{h_a}$$

$$q = 1 / (4 \text{ วินาทีต่อคัน})$$

$$q = 0.25 \text{ คันต่อวินาที}$$

$$q = 0.25 \text{ คันต่อวินาที} \times 3,600 \text{ วินาทีต่อชั่วโมง}$$

$$q = 900 \text{ คันต่อชั่วโมง}$$

(3) Space mean speed (SMS)

จากสมการ (4.13)

$$q = ku_s$$

จะได้

$$u_s = \frac{q}{k}$$

$$u_s = (900 \text{ คันต่อชั่วโมง}) / (52.8 \text{ คันต่อไมล์})$$

$$u_s = 17.0 \text{ ไมล์ต่อชั่วโมง}$$

ตัวอย่างที่ 4.2 กำหนดค่าความเร็วและความหนาแน่นของกระแสจราจรบนถนนเส้นหนึ่งมีค่าดังนี้

ความเร็ว (ไมล์ต่อชั่วโมง)	ความหนาแน่น (คันต่อไมล์)
14.2	85
24.1	70
30.3	55
40.1	41
50.6	20
55.0	15

จากข้อมูลดังกล่าว จงหา (1) ความเร็วอิสระเฉลี่ย (2) ความหนาแน่นติดขัด (3) ความสามารถรองรับปริมาณจราจรของถนน และ (4) ความเร็วที่ค่าอัตราการไหลหรือปริมาณจราจรสูงสุด (Garber and Hoel, 2002)

ข้อมูลดังแสดงในตารางสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นในรูปของแบบจำลอง Greenshields ดังแสดงในสมการ (4.14)

$$u_s = u_f \left(1 - \frac{k}{k_j} \right)$$

หรือ

$$u_s = u_f - \frac{u_f}{k_j} k$$

แบบจำลองดังกล่าวอยู่ในรูปของสมการเชิงเส้นตรงที่มีรูปสมการทั่วไป คือ $y = a + bx$ ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าว เมื่อนำมาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression analysis) จะได้ $a = 62.8124$ และ $b = 0.56845$

(1) ความเร็วอิสระเฉลี่ย (Mean free flow speed) จะได้ $u_f = a = 62.8$ ไมล์ต่อชั่วโมง

(2) ความหนาแน่นติดขัด (Jam density)

$$\text{จากสมการข้างต้น จะเห็นได้ว่า } b = u_f / k_j$$

$$b = 0.56845$$

จะได้ $k_j = 62.8 / 0.56845 = 110.49$ คันต่อไมล์

(3) ความสามารถรองรับปริมาณจราจรของถนน (Capacity)

ความสามารถรองรับปริมาณจราจรของถนนจะเกิดขึ้น ณ จุดที่เกิดการไหลกระแสจราจรสูงสุด (Maximum flow, q_{max}) จากสมการ (4.13) และ (4.14) จัดสมการเพื่อหาปริมาณจราจรจากค่าความหนาแน่นกระแสจราจร

$$q = k \times u_s = k(u_f - \frac{u_f}{k_j} k)$$

$$\text{จะได้ } q = 62.8k - \left(\frac{62.8}{110.49}\right)k^2$$

$$q = 62.8k - 0.5684k^2$$

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง q - k ณ จุดที่ q มีค่าสูงสุด (q_{max}) ความชันของกราฟ q - k จะเท่ากับศูนย์ จะได้

$$\frac{dq}{dk} = 62.8 - 1.1368k$$

$$0 = 62.8 - 1.1368k$$

ดังนั้น จะได้

$$k = 55.25 \text{ เมื่อ } q = q_{max}$$

แก้สมการหาค่า q_{max}

$$q_{max} = 62.8(55.25) - 0.5684(55.25)^2$$

$$q_{max} = 1,735 \text{ คันต่อชั่วโมง}$$

(4) ความเร็วที่ค่าอัตราการไหลหรือปริมาณจราจรสูงสุด (Speed at maximum flow)

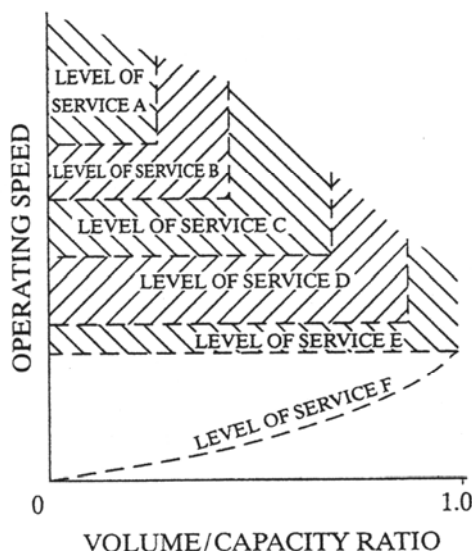
$$\text{จาก } u_s = u_f - \frac{u_f}{k_j} k$$

ที่ $q = q_{max}$ จะได้ $k = 55.25$ คันต่อไมล์

$$\text{แทนค่าในสมการ จะได้ } u_s = 62.8 - 0.5684(55.25) = 31.4 \text{ ไมล์ต่อชั่วโมง}$$

4.4. ระดับการให้บริการ

ในปี ค.ศ. 1965 Highway Capacity Manual (HCM) ได้เสนอแนวคิดในการประเมินสภาพการจราจรและประสิทธิภาพของถนนด้วย ระดับการให้บริการ (Level of service, LOS) ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แผนภาพจำแนกระดับการให้บริการ

ที่มา: Papacostas and Prevedouros (2001)

แผนภาพดังแสดงในรูปที่ 4.6 จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและปริมาณจราจรดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ก) จะแตกต่างกันที่แกนของแผนภาพในรูปที่ 4.6 จะเป็นค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณจราจรหารด้วยความสามารถรองรับปริมาณจราจร (Volume/capacity or v/c ratio) ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 พื้นที่ภายในขอบเขตเส้นกราฟจะถูกแบ่งออกเป็น 6 พื้นที่ย่อย แทนขอบเขตของระดับการให้บริการจาก A ถึง F โดยมีคำอธิบายของระดับการให้บริการแต่ละชั้น ดังนี้

ระดับการให้บริการ A (Level of service A)

ระดับการให้บริการที่ขบวนสามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระ ด้วยความเร็วอิสระ (Free-flow speed) นั่นคือผู้ขับขี่ขบวนสามารถเลือกความเร็วในการสัญจรได้โดยอิสระโดยไม่ได้รับอิทธิพลจากขบวนคันอื่นในกระแสจราจร การสัญจรของขบวนจะไม่ได้ถูกรบกวนจากขบวนคันอื่น แม้ในสภาพการจราจรที่มีความหนาแน่นสูงสุดของระดับการให้บริการ A ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างขบวนจะมีค่าประมาณ 167 เมตร (550 ฟุต) หรือเทียบเท่ากับความเร็วโดยประมาณของรถยนต์

27 คัน เป็นระดับการให้บริการที่ทำให้เกิดความสบายในการขับขี่มากที่สุด อุบัติเหตุและสภาพถนนที่เป็นอุปสรรคต่อการขับขี่จะไม่ส่งผลกระทบต่อมากนักที่ระดับการให้บริการนี้



ระดับการให้บริการ A



ระดับการให้บริการ B



ระดับการให้บริการ C



ระดับการให้บริการ D



ระดับการให้บริการ E



ระดับการให้บริการ F

รูปที่ 4.7 สภาพการจราจรที่ระดับการให้บริการ A ถึง F

ที่มา: www.in.gov

ระดับการให้บริการ B (Level of service B)

ยังเป็นระดับการให้บริการที่ขบวนสามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระ และยังสามารถเลือกใช้ความเร็วในการสัญจรได้โดยอิสระ ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างขบวนจะมีค่าประมาณ 100 เมตร (330 ฟุต) หรือเทียบได้กับความยาวของรถยนต์ 16 คัน การเปลี่ยนช่องจราจรอาจถูกจำกัดบ้างเพียงเล็กน้อย โดยรวมแล้วยังคงเป็นระดับการให้บริการที่ทำให้เกิดความสบายในการขับขี่ เช่นเดียวกับระดับการให้บริการ A อุบัติเหตุและสภาพถนนที่เป็นอุปสรรคต่อการขับขี่จะไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพการจราจรมากนักที่ระดับการให้บริการนี้

ระดับการให้บริการ C (Level of service C)

เป็นระดับการให้บริการที่สามารถใช้ความเร็วในการสัญจรได้ใกล้เคียงความเร็วอิสระ ความมีอิสระในการสัญจรจะถูกจำกัดมากขึ้น ผู้ขับขี่ต้องให้ความระมัดระวังขณะเปลี่ยนช่องจราจรมากขึ้น ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างยานมีค่าประมาณ 67 เมตร (220 ฟุต) หรือเทียบได้กับความยาวของรถยนต์ 11 คัน อุบัติเหตุบนท้องถนนยังไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพการจราจรมากนัก แต่สภาพถนนที่เป็นอุปสรรคต่อการขับขี่อาจเริ่มส่งผลกระทบมากขึ้น และอาจทำให้เกิดแฉกครอยหรือรถติดได้ในตำแหน่งที่สภาพถนนเป็นอุปสรรคต่อการสัญจรอย่างมีนัยสำคัญ

ระดับการให้บริการ D (Level of service D)

เป็นระดับการให้บริการที่ความเร็วในการสัญจรเริ่มลดลงเล็กน้อย ขณะที่ปริมาณจราจรและความหนาแน่นเริ่มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ความมีอิสระในการสัญจรในกระแสจราจรถูกจำกัดมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ทำให้ความสบายในการขับขี่ลดลงและเกิดความเครียดในการขับขี่เพิ่มขึ้น อุบัติเหตุเพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดการจราจรติดขัดขึ้นได้ที่ระดับการให้บริการนี้ เพราะมีพื้นที่ในการสัญจรและใช้ในการหลบหลีกลดลง ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างยานเท่ากับ 50 เมตร (160 ฟุต) หรือเทียบได้กับความยาวของรถยนต์ 8 คัน

ระดับการให้บริการ E (Level of service E)

เป็นระดับการให้บริการที่ระดับสูงสุดที่ถนนจะสามารถรองรับปริมาณจราจรได้ การสัญจรเป็นไปด้วยความยากลำบาก ช่วงห่างระหว่างยานไม่แน่นอน โดยประมาณแล้วเทียบได้กับความยาวของรถยนต์ 6 คัน ทำให้มีพื้นที่ในการสัญจรและเปลี่ยนช่องจราจรน้อยลง ยังคงใช้ความเร็วได้มากกว่า 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (50 ไมล์ต่อชั่วโมง) การขัดกระแสจราจรเพียงเล็กน้อยไม่ว่าจะเป็น การเปลี่ยนช่องจราจร หรือการที่รถวิ่งออกจากทางเชื่อมเข้ามาในกระแสจราจรหลัก ฯลฯ สามารถทำให้เกิดกระแสการจราจรติดขัด (Shockwave) ย้อนกลับไปยังกระแสจราจรต้นทางได้ ที่ระดับการจราจรสูงสุดนี้ ถ้ามีอุบัติเหตุเกิดขึ้นแม้เพียงเล็กน้อย ก็สามารถทำให้เกิดการจราจรติดขัดอย่างรุนแรงได้ เนื่องจากไม่มีพื้นที่เพียงพอสำหรับระบายการจราจร และเป็นสภาพการจราจรที่ส่งผลให้เกิดความอึดอัดและความเครียดต่อผู้ขับขี่เป็นอย่างมาก

ระดับการให้บริการ F (Level of service F)

เป็นระดับการให้บริการที่เกิดสภาพการจราจรติดขัดของกระแสจราจร ซึ่งโดยทั่วไปจะสังเกตได้จากแฉกครอยที่เกิดขึ้นด้านหลังจุดที่เกิดการติดขัด การติดขัดของกระแสจราจรเกิดจากสาเหตุหลักดังนี้

- อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นช่วงขณะ ส่งผลให้ถนนช่วงที่เกิดอุบัติเหตุมีความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรลดลง นั่นคือจำนวนรถยนต์ที่วิ่งเข้ามามากกว่าจำนวนรถยนต์ที่ถูกระบายออกไปจากจุดดังกล่าว
- มีปริมาณจราจรวิ่งเข้าสู่ตำแหน่งที่เกิดการขัดแย้งกันของกระแสจราจร อาทิ ตำแหน่งที่กระแสจราจรรวมเข้าด้วยกัน (Merging) ตัดกัน (Weaving) หรือตำแหน่งที่จำนวนช่องจราจรลดลง (Lane drop) ฯลฯ มากกว่าปริมาณจราจรที่วิ่งออกจากตำแหน่งนั้น
- การคาดการณ์ปริมาณจราจรที่ผิดพลาดทำให้ปริมาณจราจรสูงสุดในชั่วโมง (Peak-hour flow rate) สูงเกินกว่าความสามารถรองรับปริมาณจราจรของถนน

4.5. การสำรวจข้อมูลจราจร

การศึกษาสภาพการจราจรมีขั้นตอนหลักที่สำคัญ 3 ขั้นตอน ได้แก่ การสำรวจข้อมูล (Data collection) การจัดเก็บข้อมูล (Data reduction) และการวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) สำหรับหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงการสำรวจข้อมูลจราจร โดยจะจำแนกการสำรวจข้อมูลออกตามลักษณะของข้อมูลที่ต้องการ ซึ่งโดยทั่วไปก็คือข้อมูลพื้นฐานที่นำไปสู่การหาค่าพารามิเตอร์หลัก สำหรับอธิบายสภาพการจราจรนั่นเอง ข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการศึกษาสภาพการจราจร ได้แก่ ปริมาณจราจร ความเร็ว เวลาในการเดินทาง และความล่าช้า

4.5.1. การสำรวจปริมาณจราจร

โดยทั่วไป การสำรวจปริมาณจราจรสามารถดำเนินการได้ 3 แนวทาง ได้แก่

- การนับโดยใช้พนักงานเก็บข้อมูล (Manual counting methods)
- เครื่องนับเชิงกลแบบเคลื่อนย้ายได้ (Portable mechanical counters)
- เครื่องนับติดตั้งถาวร (Permanent counters)

4.5.1.1. การนับโดยใช้พนักงานเก็บข้อมูล (Manual counting methods)

การสำรวจปริมาณจราจรด้วยวิธีการที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าการนับรถนั้น หลายกรณีจำเป็นต้องใช้การนับด้วยแรงงานมนุษย์ ประการแรก เนื่องจากในบางกรณี การสำรวจปริมาณจราจรที่ใช้เวลาในการสำรวจน้อยกว่า 8 หรือ 10 ชั่วโมงนั้น ในกรณีดังกล่าว การนำอุปกรณ์สำหรับนับรถแบบติดตั้งถาวร หรือการนำอุปกรณ์นับรถแบบเคลื่อนย้ายได้มาใช้นั้น อาจไม่สะดวกในการดำเนินงานและไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เสียไป ด้วยเหตุนี้ แทนการใช้อุปกรณ์ดังกล่าว การนับรถโดยใช้พนักงานจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมเนื่องจาก ความสะดวก รวดเร็ว และไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่ยุ่ยยากซับซ้อน

ประการที่สอง การสำรวจข้อมูลบางประเภท สามารถดำเนินการได้สะดวก และได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องมากกว่า ถ้าใช้พนักงานนับรถเป็นผู้สำรวจข้อมูล อาทิ การจำแนกประเภทรถยนต์ การเลี้ยวและการกลับรถ การนับจำนวนคนเดิน และการครอบครองพื้นผิวจราจร เป็นต้น แม้ว่าในปัจจุบัน การนับจำนวนรถยนต์สามารถดำเนินการได้โดยอัตโนมัติด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ (Detectors) แล้วก็ตาม แต่การนับรถด้วยพนักงานทำให้สามารถจำแนกข้อมูลเชิงคุณภาพได้มากกว่า การใช้อุปกรณ์ดังกล่าว อาทิ สามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างรถแท็กซี่และรถยนต์ส่วนบุคคล หรือความแตกต่างระหว่างรถโดยสารประจำทางและรถบรรทุกตอนเดียวได้ ขณะที่อุปกรณ์ตรวจจับไม่สามารถจำแนกข้อมูลเชิงคุณภาพได้ นอกจากนี้ การนับรถด้วยพนักงานสามารถวางแผนดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว ใช้อุปกรณ์ไม่มาก และเสียค่าใช้จ่ายต่ำ

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการสำรวจข้อมูล ได้แก่ แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลจำนวนรถยนต์แบบแยกประเภท และอาจใช้อุปกรณ์เสริม ได้แก่ เครื่องนับจำนวนสะสม (Accumulating hand counters) ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ และรูปที่ 4.10 เป็นตัวอย่างของเครื่องนับด้วยพนักงานสำหรับเก็บข้อมูลปริมาณจราจรบริเวณทางแยก

ประเภท ยวดยาน ช่วงเวลา	รถยนต์ส่วนบุคคล	รถจักรยานยนต์	รถโดยสาร ประจำทาง	รถตู้	รถแท็กซี่	รถบรรทุก
08.00 – 08.15	๓๕ ๓๕	๓๕ III				
08.15 – 08.30						
08.30 – 08.45						
08.45 – 09.00						
09.00 – 09.15						
09.15 – 09.30						
09.30 – 09.45						
09.45 – 10.00						
รวม						

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างแบบฟอร์มสำหรับบันทึกจำนวนรถยนต์ในการนับรถด้วยพนักงาน



รูปที่ 4.9 เครื่องนับจำนวนสะสม (Accumulating hand counters)

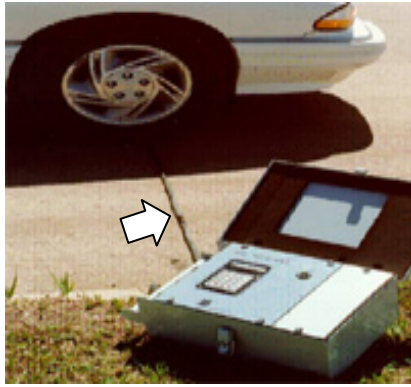


รูปที่ 4.10 เครื่องนับรถยนต์บริเวณทางแยก

ที่มา: www.ausmanufacturers.com.au

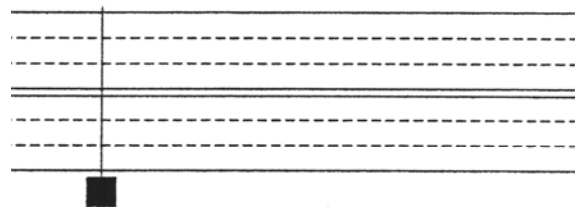
4.5.1.2. อุปกรณ์นับเชิงกลแบบเคลื่อนย้ายได้ (Portable mechanical counters)

อุปกรณ์นับรถประเภทนี้ใช้หลักการของการส่งสัญญาณความดัน (Pneumatic pulse) ซึ่งเกิดจากการที่รถยนต์วิ่งผ่านท่ออย่างที่วางไปตามความกว้างของช่องจราจร (Pneumatic road tube) ความดันที่เกิดขึ้นจะถูกส่งจากท่อผ่านไปยังเครื่องนับแบบสะสม (Accumulating counters) ซึ่งจะทำให้การบันทึกจำนวนครั้งของการวิ่งผ่านท่อของรถยนต์ในช่วงเวลาที่ทำการสำรวจข้อมูล นอกจากนี้ยังมีเครื่องนับแบบรายงานผลด้วยการพิมพ์ (Printed-tape counters) ซึ่งจะทำให้การพิมพ์จำนวนครั้งของการวิ่งผ่านท่อโดยอัตโนมัติ ทุกช่วงเวลาที่ตั้งค่าไว้ ตัวอย่างเครื่องนับดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัตถุประสงค์ในการสำรวจข้อมูลจราจรที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.12

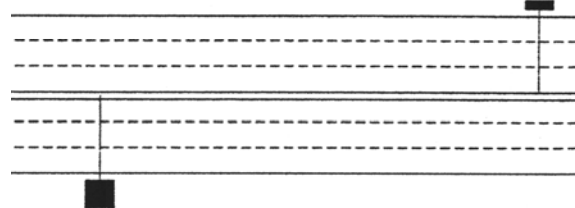


รูปที่ 4.11 เครื่องนับแบบท่อความดัน (Pneumatic road tube)

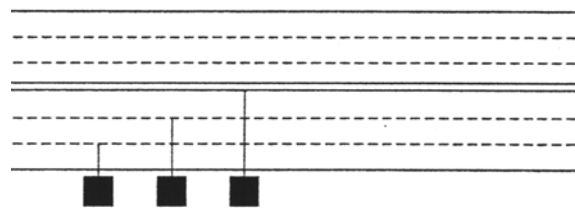
ที่มา: www.irdsa.com



(ก) การติดตั้งสำหรับการนับจำนวนเพลารวมบนถนน 2 ทิศทาง



(ข) การติดตั้งสำหรับการนับจำนวนเพลแยกแต่ละทิศทาง



(ค) การติดตั้งสำหรับการนับจำนวนเพลแยกตามช่องจราจรในทิศทางเดียว

รูปที่ 4.12 การติดตั้งอุปกรณ์นับรถแบบท่อความดัน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Roess, Prassas, and McShane (2004)

ข้อจำกัดของวิธีการนี้ก็คือนับจำนวนที่เครื่องนับบันทึกนั้นจะเป็นจำนวนเพลของขบวนที่วิ่งผ่านท่อ ไม่ใช่จำนวนขบวน แต่ละเพลของขบวนที่วิ่งผ่านท่อ จะทำให้เกิดสัญญาณความดันถูกส่งไปยังบันทึกที่เครื่องนับ ด้วยเหตุนี้ ในกรณีที่ขบวนในกระแสจราจรไม่ได้เป็นรถยนต์ที่มีสองเพลทั้งหมด ควรใช้การนับรถด้วยพนักงานมาทำการสำรวจตัวอย่าง เพื่อนำผลการสำรวจที่ได้ไป

ใช้ในการปรับแก้จำนวนเพลานับได้ ให้สอดคล้องกับจำนวนขบวนที่นับได้ โดยการจำแนกประเภทของขบวนตามจำนวนเพลานับได้ จากนั้นคำนวณหาจำนวนเพลานับต่อขบวน และใช้ค่านี้สำหรับปรับแก้จำนวนขบวนทั้งหมดที่นับได้ตลอดช่วงเวลาที่ทำการสำรวจข้อมูลให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง ดังแสดงตัวอย่างการปรับแก้ในตารางที่ 4.6 เมื่อกำหนดให้ในการสำรวจข้อมูลจราจรครั้งหนึ่งด้วยท่อความดันบนถนนสองช่องจราจรในเวลา 24 ชั่วโมง สามารถนับจำนวนขบวนที่วิ่งผ่านท่อได้ 8,500 คัน และทำการสำรวจข้อมูลเพิ่มเติมด้วยพนักงานนับรถเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบประเภทของขบวนทั้งหมดที่มีอยู่ในกระแสจราจร และจำนวนเพลานับของขบวนแต่ละประเภท เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณค่าปรับแก้

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างการปรับแก้จำนวนขบวนที่นับได้ด้วยค่าเฉลี่ยของจำนวนเพลานับ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการนับจำนวนประเภทขบวนตามจำนวนเพลานับในเวลา 2 ชั่วโมง		
ประเภทขบวน	จำนวนขบวน	
2 เพลานับ	80	
3 เพลานับ	10	
4 เพลานับ	5	
5 เพลานับ	5	
การคำนวณปรับแก้		
ประเภทขบวน	จำนวนขบวน	จำนวนเพลานับ
2 เพลานับ	× 80	= 160
3 เพลานับ	× 10	= 30
4 เพลานับ	× 5	= 20
5 เพลานับ	× 5	= 25
รวม	100	235
จำนวนเพลานับต่อคัน = $235/100 = 2.35$		
จำนวนขบวนที่นับได้ 24 ชั่วโมง หลังจากปรับแก้แล้ว = $8,500/2.35 = 3,617$ คันต่อวัน		

ที่มา: ดัดแปลงจาก McShane and Roess (1990)

ปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีการบันทึกภาพที่ทันสมัยมากขึ้น การบันทึกสภาพการจราจรด้วยกล้องวิดีโอ ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการสำรวจข้อมูลปริมาณจราจร กล้องวิดีโอจะถูกนำไปติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสมที่ทำให้สามารถบันทึกภาพการเคลื่อนที่ของขบวนในกระแสจราจรได้อย่างครบถ้วนและครอบคลุมช่วงถนน หรือทางแยกที่ต้องการสำรวจข้อมูล ข้อได้เปรียบของการใช้กล้องวิดีโอก็คือ สามารถบันทึกรายละเอียดทุกอย่างที่เกิดขึ้น รวมถึงวันที่และเวลาที่ทำการสำรวจข้อมูลด้วย อุปกรณ์ที่ใช้ก็ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ภาพที่บันทึกได้จะถูกนำไปใช้ในการนับรถในสำนักงาน ทำให้พนักงานนับรถไม่เกิดความล้าที่อาจส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของข้อมูลได้ และ

สามารถทำการนับแยกประเภทยาน และจำแนกตามช่องจราจรได้อย่างสะดวกรวดเร็ว นอกจากนี้ ยังเป็นวิธีการที่สามารถทำการตรวจสอบข้อมูลซ้ำได้ตามที่ต้องการ ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบรายละเอียดเพิ่มเติมจากข้อมูลชุดเดิม

4.5.1.3. อุปกรณ์นับติดตั้งถาวร (Permanent counters)

การสำรวจข้อมูลปริมาณจราจรบางประเภท อาทิ การสำรวจปริมาณจราจรระดับจังหวัด และภูมิภาค ฯลฯ จำเป็นต้องดำเนินการสำรวจข้อมูลอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งวัน (24 ชั่วโมง) หรือตลอดทั้งปี (365 วัน) กรณีดังกล่าว ต้องการอุปกรณ์ที่สามารถตรวจสอบปริมาณจราจรได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องใช้พนักงานในการควบคุมอุปกรณ์ดังกล่าวตลอดเวลา ในกรณีเช่นนี้ เครื่องนับปริมาณจราจรแบบติดตั้งถาวรจะถูกนำมาใช้ ซึ่งจะประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจจับยาน (Detectors) อุปกรณ์บันทึกข้อมูล และอุปกรณ์ประมวลผล ที่ถูกติดตั้งไว้อย่างถาวรบนช่วงถนนหลักที่จำเป็นต้องใช้การสำรวจข้อมูลในลักษณะดังกล่าว อาทิ บนถนนสายหลัก หรือทางแยกขนาดใหญ่ เป็นต้น

อุปกรณ์นับรถแบบติดตั้งถาวร สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่

1. เครื่องตรวจจับแบบแผ่นความดัน (Pressure-plate detector)

เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยแผ่น โลหะสองแผ่นประกบกันฝังอยู่ในพื้นผิวจราจร ระหว่างแผ่นโลหะทั้งสองจะมีสปริงและวัสดุรองรับการกระแทกติดตั้งไว้ เมื่อยานวิ่งผ่านผิวจราจรที่มีแผ่นโลหะดังกล่าวฝังอยู่ น้ำหนักยานจะทำให้แผ่นโลหะทั้งสองติดกันชั่วคราวก่อให้เกิดสัญญาณที่มีลักษณะเป็นกระแสไฟฟ้าส่งไปยังเครื่องรับเพื่อทำการบันทึกข้อมูลต่อไป

2. เครื่องตรวจจับแบบคลื่นแม่เหล็ก (Magnetic loop detector)

วงรอบที่ทำขึ้นจากลวดจะถูกฝังไว้ในพื้นผิวจราจร วงรอบนี้จะถูกเชื่อมต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น โดยรอบวงรอบนี้ เมื่อมียานวิ่งผ่านพื้นผิวจราจรในบริเวณที่มีวงรอบดังกล่าวฝังอยู่ จะมีการรบกวนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้น สัญญาณที่เกิดจากการรบกวนนี้จะถูกส่งไปยังเครื่องรับเพื่อบันทึกเป็นข้อมูลปริมาณจราจรต่อไป

3. เครื่องตรวจจับแบบคลื่น (Sonic detector)

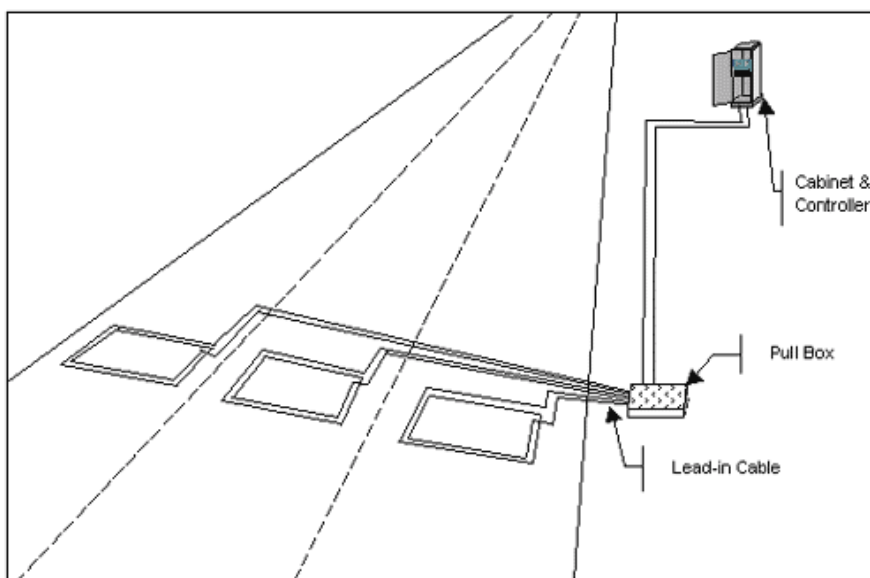
เครื่องรับส่งคลื่นจะถูกติดตั้งบริเวณริมถนน หรือเหนือช่องจราจร คลื่นที่ถูกส่งออกไปเมื่อกระทบกับยานก็จะสะท้อนกลับมายังเครื่องรับ และบันทึกเป็นข้อมูลปริมาณจราจร

ลักษณะของข้อมูลที่บันทึกโดยอุปกรณ์ทั้งสามประเภทนี้มีความแตกต่างกัน เครื่องตรวจจับแบบแผ่นความดันจะบันทึกข้อมูลเป็นจำนวนเพลลาของยานพาหนะที่วิ่งผ่าน ขณะที่เครื่องตรวจจับแบบคลื่นแม่เหล็ก และเครื่องตรวจจับแบบคลื่น จะบันทึกข้อมูลเป็นจำนวนยานพาหนะที่วิ่งผ่าน ตัวอย่างของอุปกรณ์ตรวจจับ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และ 4.14



รูปที่ 4.13 เครื่องตรวจจับแบบคลื่นแม่เหล็ก (Magnetic loop detector)

ที่มา: ops.fhwa.dot.gov

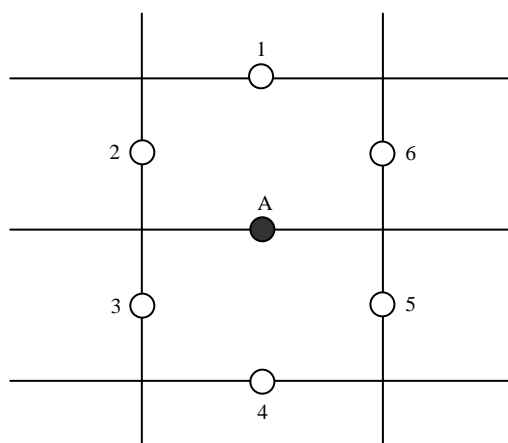


รูปที่ 4.14 การติดตั้งเครื่องตรวจจับแบบคลื่นแม่เหล็ก

ที่มา: ops.fhwa.dot.gov

4.5.1.4. การนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์

ในทางปฏิบัติ จะกำหนดตำแหน่งสำหรับสำรวจปริมาณจราจรของเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สถานีควบคุม (Control counts) และสถานีย่อย (Coverage counts) สถานีควบคุมจะเป็นสถานีหลักสำหรับการติดตามความเปลี่ยนแปลงของปริมาณจราจรอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลจากสถานีควบคุมจะถูกใช้เป็นข้อมูลหลักสำหรับการปรับแก้ปริมาณจราจรที่สำรวจได้จากสถานีย่อยทั่วทั้งโครงข่าย ขณะที่สถานีย่อยจะถูกใช้สำหรับการสำรวจตัวอย่างปริมาณจราจรเพียงบางช่วงเวลา ข้อมูลที่สำรวจได้จากสถานีย่อยถูกนำไปปรับแก้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงข่ายถนนต่อไป ตัวอย่างของการนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจปริมาณจราจรในหนึ่งวันไปใช้ประโยชน์ดังแสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.15 ตัวอย่างการกำหนดตำแหน่งสถานีสำหรับสำรวจปริมาณจราจร

ที่มา: ดัดแปลงจาก Roess, Prassas, and McShane (2004)

จากรูปที่ 4.15 กำหนดให้ A คือ สถานีควบคุมซึ่งตั้งอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตามความเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร เพื่อตรวจสอบข้อมูลปริมาณจราจรที่สามารถใช้เป็นตัวแทนของปริมาณจราจรของโครงข่ายถนน โดยจะทำการสำรวจข้อมูลที่สถานี A เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ตั้งแต่เที่ยงวัน (12.00 น.) ถึง 2 ทุ่ม (20.00 น.) สถานี 1 ถึง 6 คือ สถานีย่อยซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่ครอบคลุมโครงข่ายในพื้นที่สำรวจข้อมูล ที่สถานีย่อยนี้ จะทำการสำรวจปริมาณจราจรบางช่วงเวลา รูปที่ 4.16 แสดงตัวอย่างการคำนวณปรับแก้ปริมาณจราจรในกรณีที่สำรวจข้อมูล 1 วัน ข้อมูลปริมาณจราจรที่สถานี A และสถานี 1 ถึง 6 ดังแสดงในรูปที่ 4.16 (ก) สำหรับขั้นตอนการปรับแก้ดังแสดงในรูปที่ 4.16 (ข) และ (ค)

(ก) ข้อมูลจากการสำรวจปริมาณจราจรในหนึ่งวัน (8 ชั่วโมง)

สถานีควบคุม A		สถานีย่อย	เวลาที่ทำการสำรวจข้อมูล	จำนวนที่นับได้ (คันต่อชั่วโมง)
เวลา	จำนวนที่นับได้ (คันต่อชั่วโมง)			
12.00-13.00	825	1	12.00-13.00	840
13.00-14.00	811	2	13.00-14.00	625
14.00-15.00	912	3	14.00-15.00	600
15.00-16.00	975	4	16.00-17.00	390
16.00-17.00	1,056	5	17.00-18.00	1,215
17.00-18.00	1,153	6	18.00-19.00	1,440
18.00-19.00	938			
19.00-20.00	397			

(ข) การคำนวณสัดส่วนปริมาณจราจรรายชั่วโมงจากข้อมูลสถานีควบคุม

เวลา	จำนวนที่นับได้ (คันต่อชั่วโมง)	สัดส่วนเมื่อเทียบกับปริมาณจราจรทั้งหมดใน 8 ชั่วโมง
12.00-13.00	825	$825 / 7,075 = 0.117$
13.00-14.00	811	$811 / 7,075 = 0.115$
14.00-15.00	912	$912 / 7,075 = 0.129$
15.00-16.00	975	$975 / 7,075 = 0.138$
16.00-17.00	1,056	$1,056 / 7,075 = 0.148$
17.00-18.00	1,153	$1,153 / 7,075 = 0.163$
18.00-19.00	938	$938 / 7,075 = 0.133$
19.00-20.00	397	$397 / 7,075 = 0.056$

รวมปริมาณจราจรใน 8 ชั่วโมง = 7,075 คัน

(ค) การคำนวณปรับแก้ปริมาณจราจรของสถานีย่อยใน 1 ชั่วโมง เป็นปริมาณจราจรใน 8 ชั่วโมง

สถานีย่อย	เวลาที่ทำการสำรวจข้อมูล	จำนวนที่นับได้ (คันต่อชั่วโมง)	ค่าประมาณปริมาณจราจรใน 8 ชั่วโมง	ค่าประมาณปริมาณจราจรสูงสุดในชั่วโมง
1	12.00-13.00	840	$840 / 0.117 = 7,179$	$\times 0.163 = 1,170$
2	13.00-14.00	625	$625 / 0.115 = 5,435$	$\times 0.163 = 886$
3	14.00-15.00	600	$600 / 0.129 = 4,651$	$\times 0.163 = 758$
4	16.00-17.00	390	$390 / 0.149 = 2,617$	$\times 0.163 = 431$
5	17.00-18.00	1,215	$1,215 / 0.163 = 7,454$	$\times 0.163 = 1,215$
6	18.00-19.00	1,440	$1,440 / 0.133 = 10,827$	$\times 0.163 = 1,765$

รูปที่ 4.16 ตัวอย่างการปรับแก้ปริมาณจราจรจากข้อมูลปริมาณจราจร 1 วัน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Roess, Prassas, and McShane (2004)

ค่าปรับแก้ที่คำนวณได้จะถูกสมมติให้เป็นค่าตัวแทนที่สามารถนำไปประมาณค่าปริมาณจราจรใน 1 วัน (8 ชั่วโมง) ได้ตลอดทั้งโครงข่ายถนน ยกตัวอย่าง จากรูปที่ 4.16 (ก) ที่สถานีย่อย 1 ปริมาณจราจรที่สำรวจได้ในช่วงเวลา 12.00 น. ถึง 13.00 น. เท่ากับ 840 คันต่อชั่วโมง จากรูปที่ 4.16 (ข) จากข้อมูลปริมาณจราจรสถานีควบคุม A สามารถคำนวณค่าปรับแก้ปริมาณจราจรในช่วงเวลา 12.00 น. ถึง 13.00 น. ได้เท่ากับ 0.117 ดังนั้น จากรูปที่ 4.16 (ค) ที่สถานีย่อย 1 สามารถ

ประมาณค่าปริมาณจราจรในช่วงเวลา 8 ชั่วโมง โดยปรับแก้จากปริมาณจราจรที่สำรวจใน 1 ชั่วโมง ได้โดย ค่าประมาณปริมาณจราจรที่สถานีย่อย 1 ใน 8 ชั่วโมง = ปริมาณจราจรใน 1 ชั่วโมง/0.117 = 840/0.117 = 7,179 คันต่อชั่วโมง

กรณีที่ทำการเก็บข้อมูลต่อเนื่องหลายวัน สามารถคำนวณปรับแก้ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.17 รูปที่ 4.17 แสดงตัวอย่างการคำนวณปรับแก้ปริมาณจราจรในกรณีที่สำรวจต่อเนื่อง 6 วัน ข้อมูลปริมาณจราจรที่สถานี A และสถานี 1 ถึง 6 ดังแสดงในรูปที่ 4.17 (ก) สำหรับขั้นตอนการปรับแก้ดังแสดงในรูปที่ 4.17 (ข) และ 4.17 (ค)

(ก) ข้อมูลจากการสำรวจปริมาณจราจรต่อเนื่อง 6 วัน

สถานีควบคุม A		สถานีย่อย	วันที่ทำการสำรวจข้อมูล	จำนวนที่นับได้ใน ช่วงเวลา 8 ชั่วโมง (คันต่อวัน)
วัน	จำนวนที่นับได้ในช่วงเวลา 8 ชั่วโมง (คันต่อวัน)			
จันทร์ (1)	7,000	1	จันทร์ (1)	6,500
อังคาร	7,700	2	อังคาร	6,200
พุธ	7,700	3	พุธ	6,000
พฤหัสบดี	8,400	4	พฤหัสบดี	7,100
ศุกร์	7,000	5	ศุกร์	7,800
จันทร์ (2)	6,300	6	จันทร์ (2)	5,400

(ข) การคำนวณค่าปรับแก้รายวันจากข้อมูลสถานีควบคุม

วัน	จำนวนที่นับได้ในช่วงเวลา 8 ชั่วโมง (คันต่อวัน)	ค่าปรับแก้
จันทร์ (1)	7,000	7,350 / 7,000 = 1.05
อังคาร	7,700	7,350 / 7,700 = 0.95
พุธ	7,700	7,350 / 7,700 = 0.95
พฤหัสบดี	8,400	7,350 / 8,400 = 0.88
ศุกร์	7,000	7,350 / 7,000 = 1.05
จันทร์ (2)	6,300	7,350 / 6,300 = 1.17

รวมปริมาณจราจร = 44,100 คัน
ค่าเฉลี่ย = 44,100/6 = 7,350 คันต่อวัน

(ค) การคำนวณปรับแก้ปริมาณจราจรของสถานีย่อย

สถานีย่อย	วันที่ทำการสำรวจข้อมูล	จำนวนที่นับได้ในช่วงเวลา 8 ชั่วโมง (คันต่อวัน)	ค่าปริมาณจราจรใน 8 ชั่วโมงที่ปรับแก้แล้ว (คันต่อวัน)
1	จันทร์ (1)	6,500	× 1.05 = 6,825
2	อังคาร	6,200	× 0.95 = 5,890
3	พุธ	6,000	× 0.95 = 5,700
4	พฤหัสบดี	7,100	× 0.88 = 6,248
5	ศุกร์	7,800	× 1.05 = 8,190
6	จันทร์ (2)	5,400	× 1.17 = 6,318

รูปที่ 4.17 ตัวอย่างการปรับแก้ปริมาณจราจรจากข้อมูลปริมาณจราจร 6 วัน

ที่มา: คัดแปลงจาก Roess, Prassas, and McShane (2004)

ข้อมูลปริมาณจราจรที่นิยมนำไปใช้ในการออกแบบมักอยู่ในรูปของ ADT และ AADT ในกรณีที่ทำการสำรวจข้อมูลจราจร ณ สถานีควบคุมอย่างต่อเนื่อง ผู้ออกแบบสามารถนำข้อมูลนี้มาคำนวณค่าปรับแก้รายวันและรายเดือนสำหรับคำนวณปรับแก้เพื่อแปลงปริมาณจราจรสำหรับวันและเดือนที่ต้องการออกแบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 สำหรับค่าปรับแก้รายวัน และตารางที่ 4.8 สำหรับค่าปรับแก้รายเดือน

ตารางที่ 4.7 การคำนวณค่าปรับแก้รายวัน

วัน	ค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรรายปีของแต่ละวัน (คันต่อวัน)	ค่าปรับแก้รายวัน
จันทร์	1,332	$1,429/1,332 = 1.07$
อังคาร	1,275	$1,429/1,275 = 1.12$
พุธ	1,289	$1,429/1,289 = 1.11$
พฤหัสบดี	1,300	$1,429/1,300 = 1.10$
ศุกร์	1,406	$1,429/1,406 = 1.02$
เสาร์	1,588	$1,429/1,588 = 0.90$
อาทิตย์	1,820	$1,429/1,820 = 0.80$

รวม = 10,000 คัน

$ADT = 10,000/7 = 1,429$ คันต่อวัน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Roess, Prassas, and McShane (2004)

ตารางที่ 4.8 การคำนวณค่าปรับแก้รายเดือน

เดือน	ปริมาณจราจรรวม (คัน)	ADT ของเดือน (คันต่อวัน)	ค่าปรับแก้รายเดือน (AADT/ADT)
มกราคม	19,840	$/31 = 640$	$797/640 = 1.25$
กุมภาพันธ์	16,660	$/28 = 595$	$797/595 = 1.34$
มีนาคม	21,235	$/31 = 685$	$797/685 = 1.16$
เมษายน	24,300	$/30 = 810$	$797/810 = 0.98$
พฤษภาคม	25,885	$/31 = 835$	$797/835 = 0.95$
มิถุนายน	26,280	$/30 = 876$	$797/876 = 0.91$
กรกฎาคม	27,652	$/31 = 892$	$797/892 = 0.89$
สิงหาคม	30,008	$/31 = 968$	$797/968 = 0.82$
กันยายน	28,620	$/30 = 954$	$797/954 = 0.84$
ตุลาคม	26,350	$/31 = 850$	$797/850 = 0.94$
พฤศจิกายน	22,290	$/30 = 743$	$797/743 = 1.07$
ธันวาคม	21,731	$/31 = 701$	$797/701 = 1.14$

รวม = 290,851 คัน

$AADT = 290,851/365 = 797$ คันต่อวัน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Roess, Prassas, and McShane (2004)

ตัวอย่างการปรับแก้โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4.7 และ 4.8 สมมติทำการสำรวจข้อมูลปริมาณจราจรภายในพื้นที่ควบคุม ในวันอังคาร ของเดือนกรกฎาคม จะได้

$$ADT = 1,000 \times 1.12 = 1,120 \text{ คันต่อวัน}$$

$$AADT = 1,120 \times 0.89 = 997 \text{ คันต่อวัน}$$

4.5.2. การสำรวจความเร็ว เวลาในการเดินทาง และความล่าช้า

ข้อมูลการจราจรในกลุ่มนี้มีความเกี่ยวเนื่องกัน และสามารถตรวจสอบได้พร้อมๆ กัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.5.2.1. การสำรวจความเร็ว

อุปกรณ์ที่ใช้สำรวจความเร็วขงยานมีหลายประเภท ได้แก่ นาฬิกาจับเวลา คอมพิวเตอร์แบบพกพา เครื่องตรวจจับแบบคลื่นแม่เหล็ก ปืนเรดาร์ และกล้องวิดีโอ ซึ่งอุปกรณ์แต่ละประเภทจะมีความเหมาะสมสำหรับลักษณะงานที่แตกต่างกันไป ในการศึกษาด้านวิศวกรรมจราจร ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับความเร็วที่สำคัญ ได้แก่

- ความเร็วที่จุด (Spot speed) คือ ความเร็วที่วัดได้ขณะที่ขงยานวิ่งผ่านตำแหน่งใดๆ บนถนน
- Time mean speed (TMS) คือ ค่าเฉลี่ยความเร็วของขงยานทั้งหมดที่วิ่งผ่านตำแหน่งใดๆ บนถนนหรือช่องจราจรในช่วงเวลาที่กำหนด
- Space mean speed (SMS) คือ ค่าเฉลี่ยความเร็วของขงยานทั้งหมดที่ครอบคลุมช่วงถนนที่พิจารณาในช่วงเวลาที่กำหนด
- ความเร็วแนะนำ (Advisory speed) คือ ความเร็วที่แสดงบนป้ายจราจรประเภทป้ายแนะนำ เพื่อแนะนำความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการสัญจรบนช่วงถนนนั้นๆ เช่น บริเวณทางโค้ง หรือ บริเวณทางลาดชัน เป็นต้น

ความเร็วของขงยานสามารถตรวจสอบได้โดยวิธีการพื้นฐานต่อไปนี้

- มาตรวัดเรดาร์ (Radar meter) การตรวจจับความเร็วของขงยานที่กำลังวิ่งผ่านจุดคงที่ใดๆ บนถนนโดยใช้อุปกรณ์เรดาร์ หรืออุปกรณ์ตรวจจับความเร็วอื่นๆ ซึ่งทำให้สามารถวัดค่าความเร็วขงยานได้โดยตรง
- กำหนดช่วงสั้นๆ ขึ้นบนถนนโดยกำหนดแนวอ้างอิงขึ้น 2 แนว ตามความกว้างถนนในตำแหน่งที่ต้องการสำรวจความเร็ว และทำการบันทึกเวลาที่รถแต่ละคันใช้ในการวิ่งบนช่วงถนนนั้น
- กำหนดช่วงถนนที่มีความระยะทางพอสมควร จากนั้นบันทึกเวลาในการเดินทางที่ขงยานใช้ในการเดินทางในช่วงถนนนั้น
- ใช้รถทดสอบ (Test-car) วิ่งบนช่วงถนนที่กำหนดไว้ โดยทำการบันทึกเวลาในการเดินทางที่ใช้ในการวิ่งแต่ละรอบ จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณหาความเร็ว

ความเร็วของขบวนยานที่วัดค่าได้ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลความเร็วที่ได้จากการสำรวจ

รถคันที่	ความเร็ว (กม./ชม.)	รถคันที่	ความเร็ว (กม./ชม.)	รถคันที่	ความเร็ว (กม./ชม.)	รถคันที่	ความเร็ว (กม./ชม.)
1	35.1	23	46.1	45	47.8	67	56.0
2	44.0	24	54.2	46	47.1	68	49.1
3	45.8	25	52.3	47	34.8	69	49.2
4	44.3	26	57.3	48	52.4	70	56.4
5	36.3	27	46.8	49	49.1	71	48.5
6	54.0	28	57.8	50	37.1	72	45.4
7	42.1	29	36.8	51	65.0	73	48.6
8	50.1	30	55.8	52	49.5	74	52.0
9	51.8	31	43.3	53	52.2	75	49.8
10	50.8	32	55.3	54	48.4	76	63.4
11	38.3	33	39.0	55	42.8	77	60.1
12	44.6	34	53.7	56	49.5	78	48.8
13	45.2	35	40.8	57	48.6	79	52.1
14	41.1	36	54.5	58	41.2	80	48.7
15	55.1	37	51.6	59	48.0	81	61.8
16	50.2	38	51.7	60	58.0	82	56.6
17	54.3	39	50.3	61	49.0	83	48.2
18	45.4	40	59.8	62	41.8	84	62.1
19	55.2	41	40.3	63	48.3	85	53.3
20	45.7	42	55.1	64	45.9	86	53.4
21	54.1	43	45.0	65	44.7		
22	54.0	44	48.3	66	49.5		

ที่มา: ดัดแปลงจาก Institute of Transportation Engineering (1994)

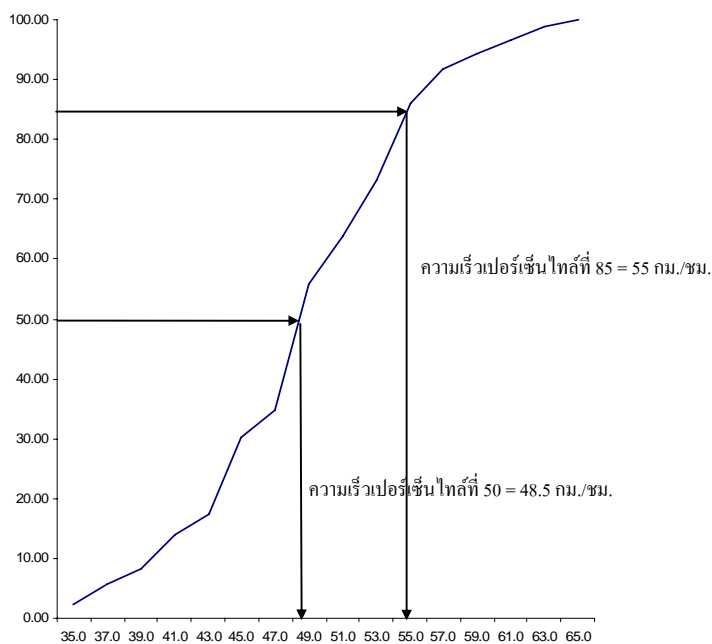
ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจความเร็วของขบวนยานดังแสดงในตารางที่ 4.9 จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าความถี่สะสมของการกระจายตัวของความเร็วดังแสดงในตารางที่ 4.10 ค่าความถี่สะสมและความเร็วสามารถแสดงในรูปของแผนภาพ ดังรูปที่ 4.18 จากรูปดังกล่าว มีค่าที่สำคัญสองค่าที่นำไปใช้ประโยชน์ได้แก่ ความเร็วเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 (The 50th percentile speed) และความเร็วเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 85 (The 85th percentile speed)

ความเร็วเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 เป็นค่ามัธยฐาน (Median) ของความเร็วที่บอกให้ทราบว่าผู้ขับขี่ขบวนยานที่ใช้ความเร็วเกินกว่าความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจร มีสัดส่วนเท่าไร ขณะที่ความเร็วเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 85 เป็นค่าที่บอกให้ทราบขีดจำกัดบนของความเร็วที่ผู้ขับขี่ขบวนยานสามารถสัญจรได้อย่างปลอดภัย ในบางกรณี ค่าดังกล่าวจะเท่ากับค่าความเร็วควบคุม (Speed limit) ที่ติดไว้บนป้ายจราจร นอกจากนี้ ผู้ออกแบบส่วนมากมักพิจารณาความเร็วเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 85 เป็นความเร็วที่ใช้ในการออกแบบถนนด้วย

ตารางที่ 4.10 การกระจายตัวและความถี่สะสมของข้อมูลความเร็วที่ได้จากการสำรวจ

ช่วงชั้น ความเร็ว	จุดกึ่งกลางชั้น (u_i)	ความถี่ (f_i)	$f_i u_i$	ค่าร้อยละของความถี่ในช่วง ชั้นต่อความถี่รวม	ค่าสะสมของ ค่าร้อยละ
34-35.9	35.0	2	70	2.3	2.30
36-37.9	37.0	3	111	3.5	5.80
38-39.9	39.0	2	78	2.3	8.10
40-41.9	41.0	5	205	5.8	13.90
42-43.9	43.0	3	129	3.5	17.40
44-45.9	45.0	11	495	12.8	30.20
46-47.9	47.0	4	188	4.7	34.90
48-49.9	49.0	18	882	20.9	55.90
50-51.9	51.0	7	357	8.1	64.00
52-53.9	53.0	8	424	9.3	73.30
54-55.9	55.0	11	605	12.8	86.10
56-57.9	57.0	5	285	5.8	91.90
58-59.9	59.0	2	118	2.3	94.20
60-61.9	61.0	2	122	2.3	96.50
62-63.9	63.0	2	126	2.3	98.80
64-65.9	65.0	1	65	1.2	100.00
รวม		86	4,260		

ที่มา: ดัดแปลงจาก Institute of Transportation Engineering (1994)



รูปที่ 4.18 การหาความเร็วเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 และความเร็วเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 85

ที่มา: ดัดแปลงจาก Institute of Transportation Engineering (1994)

4.5.2.2. การสำรวจเวลาในการเดินทาง

เวลาในการเดินทาง (Travel time) คือ เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการสัญจรในช่วงถนนใดๆ หรือจากจุดต้นทางไปยังจุดปลายทางที่กำหนดไว้ เวลาในการเดินทางสามารถตรวจสอบได้ด้วยวิธีการต่อไปนี้

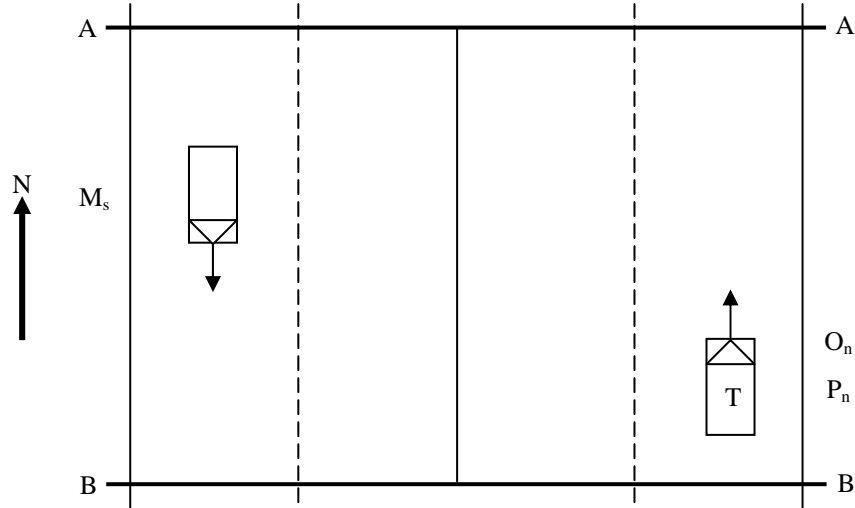
- วิธีรถทดสอบ (Test-car runs) ประกอบด้วยเทคนิคในการสำรวจข้อมูล 3 รูปแบบ ได้แก่
 1. เทคนิครถลอยตัว (Floating car) วิธีนี้คนขับรถทดสอบจะถูกกำหนดให้ขับแซงรถคันอื่นในกระแสจราจรให้พอๆ กับจำนวนรถที่ขับแซงรถทดสอบ ด้วยวิธีการนี้ คนขับจะสามารถประมาณค่า Space mean speed ของกระแสจราจรได้ หรืออาจนำระยะทางแต่ละช่วงหารด้วยเวลาที่ใช้เดินทางในแต่ละช่วง ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถหาค่า Space mean speed ได้
 2. เทคนิครถเฉลี่ย (Average car) วิธีการนี้ คนขับจะถูกกำหนดให้ใช้ความเร็วในการเดินทางที่ใกล้เคียงกับความเร็วโดยรวม หรือความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจร
 3. เทคนิครถมากที่สุด (Maximum car) วิธีการนี้จะกำหนดให้คนขับใช้ความเร็วในการเดินทางได้สูงสุดไม่เกินที่กำหนดไว้บนป้ายควบคุมความเร็ว

- การตรวจสอบป้ายทะเบียน (License-plate observations) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสำรวจเวลาในการเดินทางบนช่วงถนนที่มีความยาวพอสมควร การสำรวจทำได้โดยการจดตัวเลข 3 หลักท้ายของทะเบียนรถขณะที่รถวิ่งผ่านสถานีสำรวจข้อมูลซึ่งตั้งอยู่บนตำแหน่งต้นทางของช่วงถนนที่ทำการสำรวจข้อมูล และขณะที่รถวิ่งออกจากช่วงถนนที่ทำการสำรวจข้อมูล ณ สถานีสำรวจข้อมูลซึ่งตั้งอยู่ที่ปลายทางของช่วงถนนนั้น วิธีนี้จะไม่สามารถตรวจสอบเวลาและความเร็วในการเดินทางช่วงย่อยๆ ที่เกิดขึ้นบนช่วงถนนที่ศึกษาได้ ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจจะอยู่ในรูปของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเดินทาง

- การตรวจสอบบัตรทางด่วน (Toll-road cards) เป็นการสำรวจเวลาที่ใช้ในการเดินทางตลอดทั้งโครงข่ายถนนที่ทำการศึกษา บัตรทางด่วนจะถูกใช้เป็นเครื่องมือในการบันทึกเวลาเข้าและออกโครงข่ายถนนที่ทำการสำรวจข้อมูล ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยวิธีนี้จะเป็นเวลาที่ใช้ทั้งหมดในการเดินทางบนโครงข่ายถนน ซึ่งรวมถึงเวลาที่ใช้ในการหยุดพักระหว่างทางด้วย การตรวจสอบบัตรทางด่วนยังทำให้ทราบข้อมูลจุดต้นทางปลายทางของผู้ขับเพิ่มเติมด้วย

- การตรวจสอบจากจุดสังเกตการณ์ (Observation of vehicle from a vantage point) กำหนดจุดสังเกตข้อมูลในตำแหน่งที่สามารถมองเห็นสถานการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในบริเวณที่จะสำรวจข้อมูลได้ครบถ้วน จากนั้นทำการติดตั้งกล้องวิดีโอเพื่อบันทึกสภาพการจราจรตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษา เมื่อนำภาพที่บันทึกได้มาทำการคัดแยกข้อมูล ก็จะได้เวลาในการเดินทางตามที่ต้องการ

การนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเวลาในการเดินทางมาใช้ประโยชน์ จะนำเสนอโดยยกตัวอย่างกรณีการสำรวจด้วยวิธีรถทดสอบ สมมติให้ในการวิ่งรถทดสอบครั้งหนึ่ง มีทิศทางรถเคลื่อนที่ของรถที่ใช้ทดสอบ และการจัดตำแหน่งของถนนเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 การสำรวจเวลาในการเดินทางด้วยวิธีรถทดสอบ (Test-car run)

ที่มา: คัดแปลงจาก Institute of Transportation Engineering (1994)

ชื่อถนน.....		วันที่.....	
จุดต้นทาง.....		จุดปลายทาง.....	
สภาพอากาศ.....			

รอบที่	เวลาเริ่มต้น	เวลาสิ้นสุด	เวลาในการเดินทาง	จำนวนรถที่วิ่งสวน	จำนวนรถที่แซง	จำนวนรถที่ถูกแซง
มุ่งทิศ						
1						
2						
3						
4						
รวม						
เฉลี่ย						
มุ่งทิศ						
1						
2						
3						
4						
รวม						
เฉลี่ย						

รูปที่ 4.20 แบบบันทึกข้อมูลการวิ่งรถทดสอบ (Test-car run)

ที่มา: คัดแปลงจาก Institute of Transportation Engineering (1994)

จากรูปที่ 4.19 รถทดสอบ T วิ่งบนช่วงถนนที่ใช้สำรวจเวลาในการเดินทาง AB โดยมุ่งหน้าสู่ทิศเหนือ (Northbound) ในการวิ่งรถทดสอบแต่ละรอบ นอกจากคนขับแล้ว จะต้องมีการเจ้าหน้าที่บันทึกข้อมูลอย่างน้อยหนึ่งคน ทำหน้าที่จับเวลาและบันทึกข้อมูลที่จำเป็นดังแสดงตัวอย่างแบบบันทึกข้อมูลในรูปที่ 4.20 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้อาจจากการวิ่งรถทดสอบทิศทางละ 6 รอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้อาจจากการวิ่งรถทดสอบ

รอบที่	เวลาในการเดินทาง (T_n) (นาที)	จำนวนรถที่วิ่งสวน (M_s)	จำนวนรถที่แซง (O_n)	จำนวนรถที่ถูกแซง (P_n)
มุ่งทิศเหนือ				
1N	2.65	112	1	0
2N	2.70	113	3	2
3N	2.35	119	0	2
4N	3.00	120	2	0
5N	2.42	105	1	1
6N	2.54	100	2	1
รวม	15.66	669	9	6
เฉลี่ย	2.61	111.5	1.5	1.0
รอบที่	เวลาในการเดินทาง (T_s) (นาที)	จำนวนรถที่วิ่งสวน (M_n)	จำนวนรถที่แซง (O_s)	จำนวนรถที่ถูกแซง (P_s)
มุ่งทิศใต้				
1S	2.33	85	2	0
2S	2.30	83	0	2
3S	2.71	77	0	0
4S	2.16	85	1	1
5S	2.54	90	0	2
6S	2.48	84	0	1
รวม	14.52	504	3	6
เฉลี่ย	2.42	84.0	0.5	1.0

ที่มา: คัดแปลงจาก Institute of Transportation Engineering (1994)

เมื่อทำการวิ่งรถทดสอบจนได้จำนวนรอบของการสำรวจข้อมูลตามที่ต้องการแล้ว จะนำข้อมูลต่างๆ มาคำนวณเพื่อหาค่าปริมาณจราจร เวลาในการเดินทางเฉลี่ย และ ความเร็วเฉลี่ย ได้จากสมการต่อไปนี้

ปริมาณจราจรต่อชั่วโมง (Hourly volume)

$$v_n = 60 \left(\frac{M_s + O_n - P_n}{T_n + T_s} \right) \tag{4.25}$$

เวลาในการเดินทางเฉลี่ย (Average travel time)

$$T_n = T_n - \frac{60(O_n - P_n)}{V_n} \quad (4.26)$$

ความเร็วเฉลี่ย (Space mean speed)

$$S_n = \frac{60d}{T_n} \quad (4.27)$$

- โดยที่ V_n = ปริมาณจราจรต่อชั่วโมง ในกรณีที่รถทดสอบมุ่งหน้าสู่ทิศเหนือ
- M_s = จำนวนรถที่วิ่งสวนทางบนถนนฝั่งตรงข้ามซึ่งนับได้ในกรณีที่รถทดสอบมุ่งหน้าสู่ทิศใต้
- O_n = จำนวนรถที่วิ่งแซงรถทดสอบในกรณีที่รถทดสอบมุ่งหน้าสู่ทิศเหนือ
- P_n = จำนวนรถที่ถูกแซงโดยรถทดสอบในกรณีที่รถทดสอบมุ่งหน้าสู่ทิศเหนือ
- T_n = เวลาในการเดินทางเฉลี่ยของกระแสจราจรในกรณีที่รถทดสอบมุ่งหน้าสู่ทิศเหนือ หน่วย นาที
- T_s = เวลาในการเดินทางเฉลี่ยของกระแสจราจรในกรณีที่รถทดสอบมุ่งหน้าสู่ทิศใต้ หน่วย นาที
- S_n = ความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรในกรณีที่รถทดสอบมุ่งหน้าสู่ทิศเหนือ หน่วย กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/h) หรือ ไมล์ต่อชั่วโมง (mph)
- d = ระยะทางของช่วงถนนที่ใช้ทดสอบ หน่วย กิโลเมตร (km) หรือ ไมล์ (miles)

กำหนดให้ระยะทางระหว่างเส้นอ้างอิง A-A ถึง B-B มีค่าเท่ากับ 0.75 กิโลเมตร จากสมการที่ (4.25) จะได้ปริมาณจราจรในทิศมุ่งหน้าสู่ทิศเหนือและทิศใต้ ดังนี้

กรณีรถทดสอบมุ่งหน้าสู่ทิศเหนือ

$$v_n = 60 \left(\frac{111.5 + 1.5 - 1.0}{2.61 + 2.42} \right)$$

$$= 1,336 \text{ คันต่อชั่วโมง}$$

กรณีรถทดสอบมุ่งหน้าสู่ทิศใต้

$$v_s = 60 \left(\frac{84.0 + 0.5 - 1.0}{2.42 + 2.61} \right)$$

$$= 996 \text{ คันต่อชั่วโมง}$$

จากสมการที่ (4.26) จะได้เวลาในการเดินทางเฉลี่ยในทิศทางหน้าสู่ทิศเหนือและทิศใต้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{กรณีรถทดสอบมุ่งหน้าสู่ทิศเหนือ} \quad T_n &= 2.61 - \frac{60(1.5 - 1.0)}{1,336} \\ &= 2.59 \text{ นาที} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{กรณีรถทดสอบมุ่งหน้าสู่ทิศใต้} \quad T_s &= 2.42 - \frac{60(0.5 - 1.0)}{996} \\ &= 2.45 \text{ นาที} \end{aligned}$$

จากสมการที่ (4.27) จะได้ความเร็วเฉลี่ย (Space mean speed) ในทิศทางหน้าสู่ทิศเหนือและทิศใต้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{กรณีรถทดสอบมุ่งหน้าสู่ทิศเหนือ} \quad S_n &= 60 \left(\frac{0.75}{2.59} \right) \\ &= 17.4 \text{ กิโลเมตรต่อชั่วโมง} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{กรณีรถทดสอบมุ่งหน้าสู่ทิศใต้} \quad S_s &= 60 \left(\frac{0.75}{2.45} \right) \\ &= 18.4 \text{ กิโลเมตรต่อชั่วโมง} \end{aligned}$$

จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่า ถ้าเป็นกรณีที่รถทดสอบวิ่งไปทางทิศใต้ รูปแบบสมการจะยังคงเดิม แต่สัญลักษณ์แสดงทิศทางจะเปลี่ยนเป็นตรงกันข้ามในทุกตำแหน่ง การแทนค่าในสมการจึงควรระมัดระวังในจุดนี้ด้วย

4.5.2.3. การสำรวจความล่าช้า

เมื่อกล่าวถึงความล่าช้า โดยมากมักจะหมายถึง ความล่าช้าอันเกิดจากการหยุด (Stopped delay) ของขบวน และเนื้อหาที่จะกล่าวถึงในหัวข้อนี้ จะพิจารณาความล่าช้าอันเกิดจากการหยุดบริเวณทางแยก (Intersection stopped delay) เป็นหลัก

ความล่าช้าอันเกิดจากการหยุด (มีหน่วยเป็น วินาทีต่อคัน หรือ sec/veh) เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญค่าหนึ่งซึ่งบ่งบอกประสิทธิภาพในการรองรับปริมาณจราจรและระดับการให้บริการของทางแยก การสำรวจความล่าช้าของกระแสจราจรบริเวณทางแยก สามารถตรวจสอบได้โดยใช้แบบบันทึกข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4.21

แนวทางวิ่ง		ผู้บันทึกข้อมูล					
กลุ่มช่องจราจร		วันที่.....		ช่วงเวลา			
สภาพอากาศ.....							
เวลา	จำนวนรถยนต์ที่ล่าช้า				ปริมาณจราจร		รวม
	+15	+30	+45	+60	ที่ล่าช้า	ที่ไม่ล่าช้า	
4:00	2	3	4	1	14	23	37
4:01	3	3	2	3	15	1	16
4:02	4	4	2	0	15	10	25
4:03	0	2	2	3	15	6	21
4:04	7	0	0	0	7	19	26
4:05	1	2	3	8	26	8	34
4:06	0	0	0	2	22	6	28
4:07	6	8	3	0	20	2	22
4:08	0	5	6	9	15	19	34
4:09	0	0	1	5	12	10	22
4:10	7	6	4	0	21	3	24
4:11	0	3	3	4	6	22	28
4:12	3	0	1	2	2	15	17
4:13	4	4	2	6	38	11	49
4:14	0	0	0	1	5	21	26
ผลรวมย่อย	37	40	33	44			
รวม				154	233	176	409

รูปที่ 4.21 แบบบันทึกข้อมูลการสำรวจความล่าช้า

ที่มา: คัดแปลงจาก Currin (2001)

จากรูปที่ 4.21 หาความล่าช้ารวมจากผลคูณระหว่างผลรวมของจำนวนความล่าช้าทั้งหมดที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงเวลาที่สังเกต และช่วงเวลาย่อยที่สังเกต จะได้

$$\text{ความล่าช้ารวม (Total delay)} = 154 \times 15 = 2,310 \text{ คัน-วินาทีของความล่าช้า}$$

จากนั้นนำความล่าช้ารวมหารด้วยปริมาณจราจรของขบวนยานที่ถูกทำให้ล่าช้า จะได้

$$\text{ความล่าช้าเฉลี่ยต่อจำนวนขบวนยานที่ล่าช้า} = 2,310 / 233 = 9.9 \text{ วินาทีต่อคัน}$$

ค่าความล่าช้าที่คำนวณได้ตามที่กล่าวมาข้างต้น เป็นค่าที่ไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบเป็นระดับการให้บริการของทางแยกได้ ค่าความล่าช้าที่สามารถนำไปประเมินระดับการให้บริการของทางแยกได้นั้น คำนวณโดย นำค่าความล่าช้ารวมไปหารด้วยปริมาณจราจรรวมทั้งหมด และนำค่าที่ได้ไปคูณด้วย 1.3 (233/176) ดังนั้น จากรูปที่ 4.21 จะได้

$$\text{ความล่าช้า} = (2,310 / 409) \times 1.3 = 7.3 \text{ วินาทีต่อคัน}$$

ค่าความล่าช้าที่คำนวณได้จากวิธีนี้ สามารถนำไปประเมินระดับการให้บริการของทางแยกได้ โดยเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.12 ระดับการให้บริการและความล่าช้า

ระดับการให้บริการ (Level of service, LOS)	ความล่าช้า (วินาทีต่อคัน)
A	≤ 10.0
B	10.1 to 20.0
C	20.1 to 35.0
D	35.1 to 55.0
E	55.1 to 80.0
F	> 80.0

ที่มา: ดัดแปลงจาก Currin (2001)

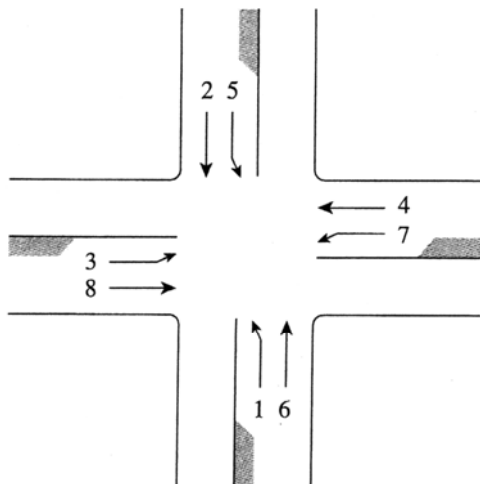
จากตารางที่ 4.12 พบว่า เส้นทางที่วิ่งสู่ทางแยกซึ่งมีค่าความล่าช้า 7.3 วินาทีต่อคัน จัดอยู่ในระดับการให้บริการ A นอกจากนี้ ยังสามารถหาค่า ร้อยละของปริมาณจราจรรวมทั้งหมดที่ทำให้ล่าช้า (Percentage of total volume delay) ได้ โดยจากรูปที่ 4.21 ค่าดังกล่าวจะเท่ากับ $233/409 = 0.57$ หรือคิดเป็นร้อยละ 57 ของปริมาณจราจรทั้งหมด

4.6. การออกแบบสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยก

ทางแยก (Intersection) เป็นตำแหน่งบนโครงข่ายถนนที่เกิดจากการตัดกันของถนน ทางแยกจึงมักเป็นบริเวณที่มีการขัดแย้งกันของกระแสจราจร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีปริมาณจราจรจำนวนมากวิ่งเข้าสู่ทางแยก ถ้าการจัดการกระแสจราจรบริเวณทางแยกไม่มีประสิทธิภาพแล้ว ก็อาจก่อให้เกิดการจราจรติดขัดและแถวคอยในปริมาณที่สูงได้ ด้วยเหตุนี้การจัดการระเบียบการเคลื่อนตัวของกระแสจราจรบริเวณทางแยกจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญและจำเป็นต่อการออกแบบโครงข่ายถนนของเมือง

การจัดการกระแสจราจรที่วิ่งผ่านทางแยก ในกรณีที่มีปริมาณการจราจรที่ผ่านทางแยกนั้นไม่สูงมาก อาจควบคุมและจัดระเบียบการเคลื่อนตัวด้วยเครื่องหมายจราจร (Traffic markings) ป้ายจราจร (Traffic signs) หรือใช้หลักการจัดช่องทางสัญจร (Channelization) ในบริเวณทางแยก อย่างไรก็ตาม ทางแยกที่ต้องรองรับปริมาณจราจรสูง การใช้เครื่องมือควบคุมกระแสจราจรตามที่กล่าวข้างต้นอาจไม่เพียงพอ ในกรณีนี้ จะใช้การติดตั้งสัญญาณไฟจราจรในการควบคุมกระแสจราจรในทางแยกดังกล่าว

ในการควบคุมกระแสจราจรบริเวณทางแยกด้วยสัญญาณไฟจราจรนั้น สิ่งสำคัญประการหนึ่งซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรของทางแยก ประสิทธิภาพของทางแยก ความล่าช้าในการเดินทาง และความยาวของแถวคอยก็คือ การจัดสัญญาณไฟจราจร เนื้อหาในหัวข้อนี้จะพิจารณากรณีศึกษาที่เป็น 4 แยก และมีทิศทางการสัญจรของยานตามมาตรฐานของ 4 แยกทั่วไปแสดงในผังทางแยกตามรูปที่ 4.22

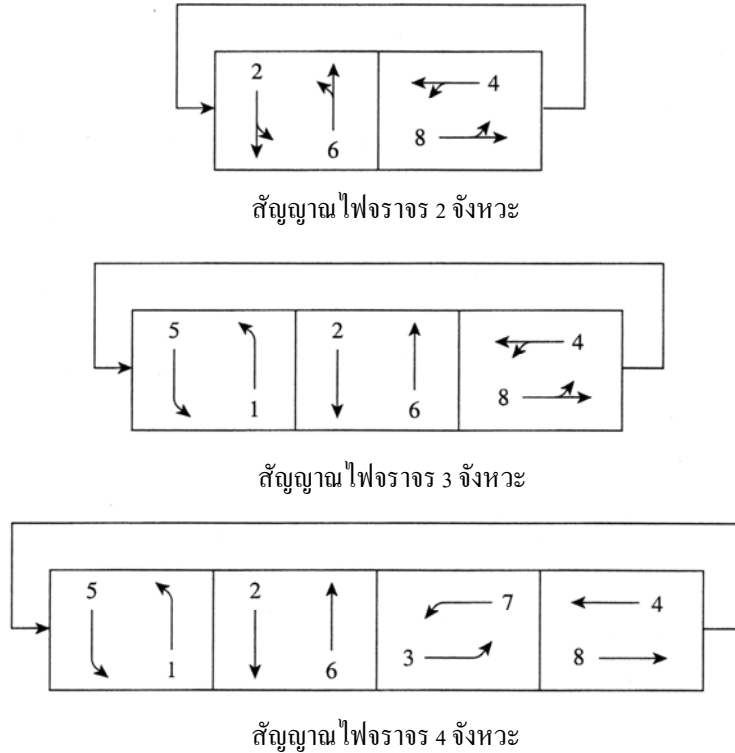


รูปที่ 4.22 ผังแสดงทิศทางการสัญจรของยานบริเวณทางแยก

ที่มา: ดัดแปลงจาก Bank (2004)

การจัดสัญญาณไฟจราจร สามารถกำหนดให้เป็นแบบ 2 จังหวะ (Two-phase) สามจังหวะ (Three-phase) หรือสี่จังหวะ (Four-phase) ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของถนนที่มาตัดกัน และปริมาณจราจรที่วิ่งจากแต่ละขาเข้าสู่ทางแยก ตัวอย่างการจัดสัญญาณไฟจราจร ดังแสดงในรูปที่ 4.23 และ 4.24 ทั้งนี้ ข้อควรพิจารณาในการศึกษาตัวอย่างตามที่แสดงในรูปที่ 4.22 ถึง 4.24 และตัวอย่างอื่นๆ ในหัวข้อนี้ก็คือ ทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสจราจรจะเป็นไปตามกฎจราจรของประเทศที่ขับรถชิดช่องจราจรขวาสุด และรถยนต์เป็นแบบมีพวงมาลัยอยู่ด้านซ้ายมือ ดังนั้น การเลี้ยวซ้ายผ่านตลอดจึงไม่สามารถปฏิบัติได้เหมือนในประเทศไทย แต่ต้องรอจังหวะสัญญาณไฟ

เขียว ซึ่งจะเหมือนกับกรอสัญญาณไฟจราจรเพื่อเลี้ยวขวาของประเทศที่ขับรถชิดช่องจราจรซ้ายสุด และรถยนต์เป็นแบบมีพวงมาลัยอยู่ด้านขวามือ เช่น ประเทศไทย เป็นต้น



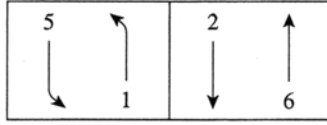
รูปที่ 4.23 การจัดสัญญาณไฟจราจร

ที่มา: Bank (2004)

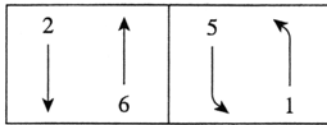
วิธีการที่นิยมใช้ในการออกแบบจังหวะการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจร ได้แก่ วิธี Webster (Webster method) และ Highway Capacity Manual method ทั้ง 2 วิธีมีแนวทางการวิเคราะห์ที่เหมือนกัน คือ จะใช้ค่าสัดส่วนของ ค่าปริมาณจราจรวิกฤติ (Critical volume, v_c) ต่อค่าการไหลอิ่มตัว (Saturation flow, s) หรือ v_c/s ratio และการกระจายตัวของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวไปยังแต่ละทิศทางของทางแยก โดยพิจารณาจากค่าสัดส่วนปริมาณจราจรของทิศทางนั้นๆ ต่อค่าการไหลอิ่มตัว v_c/s ratio

ตัวแปรสำคัญสำหรับการออกแบบจังหวะสัญญาณไฟจราจรด้วย 2 วิธี นี้ ได้แก่ ปริมาณจราจรที่เกิดจากการเคลื่อนที่ขัดแย้งกัน (Conflicting traffic movements) โดยการเคลื่อนที่ขัดแย้งกันจะพิจารณาจาก ทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสจราจรที่จะวิ่งมาตัดกันถ้าได้รับสัญญาณไฟเขียวพร้อมๆ กัน ดังนั้น ทิศทางดังกล่าวจึงไม่สามารถให้สัญญาณไฟเขียวพร้อมกันได้ เช่น กระแสจราจรในทิศทางเหนือ-ใต้ จะขัดแย้งกับกระแสจราจรในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก หรือจากรูปที่ 4.22 กระแสจราจรที่เลี้ยวซ้ายกับกระแสจราจรในทิศทางตรงข้ามที่วิ่งทางตรง เป็นต้น ปริมาณ

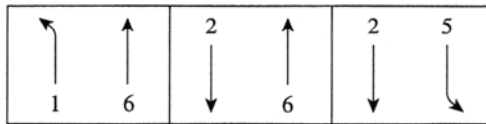
จราจรที่มีค่ามากที่สุดที่เกิดจากการขัดแย้งกันของกระแสจราจรนี้ จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาผลรวมของความยาวช่วงสัญญาณไฟเขียวที่มากที่สุดที่อยู่ในระยะเวลาหนึ่งรอบสัญญาณไฟจราจร



การจัดสัญญาณไฟเขียวนำสำหรับการเลี้ยวซ้าย



การจัดสัญญาณไฟเขียวเหลื่อมสำหรับการเลี้ยวซ้าย

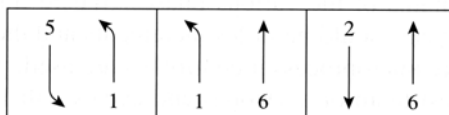


การจัดสัญญาณไฟเขียวนำและเหลื่อมสำหรับการเลี้ยวซ้าย

รูปที่ 4.24 การจัดสัญญาณไฟจราจรเสริมสำหรับการเลี้ยวซ้าย

ที่มา: Bank (2004)

ในกรณีที่ปริมาณจราจรรถเลี้ยวซ้ายในทิศใดทิศหนึ่งมีปริมาณสูงมาก อาจให้สัญญาณไฟเขียวเพื่อระบายปริมาณจราจรที่รถเลี้ยวซ้ายในทิศทางนั้นออกไปก่อน จากนั้นทำการขยายช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวในทิศทางนั้น โดยให้สัญญาณไฟเขียวแก่การจราจรกระแสตรง และสัญญาณไฟจราจรในจังหวะถัดไป จึงให้สัญญาณไฟเขียวแก่กระแสจราจรในทิศทางตรงข้าม การจัดสัญญาณไฟจราจรในลักษณะนี้เรียกว่า Overlap phasing ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 การจัดสัญญาณไฟแบบ Overlap phasing

ที่มา: Bank (2004)

ถ้าจัดสัญญาณไฟจราจรแบบ Overlap phasing ไม่เหมาะสม จะเกิดการขัดแย้งกันของ
 กระแสจราจรขึ้นและปริมาณจราจรรวมที่มีค่ามากที่สุดที่เกิดจากการขัดแย้งกันของกระแสจราจรนี้
 จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาผลรวมของความยาวช่วงสัญญาณไฟเขียวที่มากที่สุดที่อยู่ใน
 ช่วงเวลาหนึ่งรอบสัญญาณไฟเช่นเดียวกัน ดังตัวอย่าง สมมติให้การเคลื่อนที่ของกระแสจราจรบน
 ถนนที่วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ มีค่าสัดส่วน v/s ดังนี้ มุ่งทิศเหนือเลี้ยวซ้าย (Northbound left turn,
NBLT) 0.20 มุ่งทิศใต้เลี้ยวซ้าย (Southbound left turn, *SBLT*) 0.18 มุ่งทิศเหนือวิ่งตรง (Northbound
 through, *NB*) 0.27 และมุ่งทิศใต้วิ่งตรง (Southbound through, *SB*) 0.23 จากข้อมูลดังกล่าว จะได้ค่า
 วิฤติของผลรวมของค่าสัดส่วน v/s สำหรับทางแยกนี้ คือ

$$\sum (v/s) = \max(NBLT + SB, SBLT + NB) = \max(0.20 + 0.23, 0.18 + 0.27) = 0.45$$

จากข้อมูล จะเห็นได้ว่ากระแสจราจรหลักคือกระแสจราจรที่มุ่งหน้าไปทางทิศเหนือ ดังนั้น
 จังหวะสัญญาณไฟจราจรควรเป็น

จังหวะสัญญาณไฟจราจร	ทิศทางการได้สัญญาณไฟเขียว
1	(<i>NBLT, SBLT</i>)
1a (overlap)	(<i>NBLT, NB</i>)
2	(<i>NB, SB</i>)

แต่ถ้าค่าสัดส่วน v/s เป็นดังนี้ *NBLT* 0.18 *SBLT* 0.20 *NB* 0.27 และ *SB* 0.23 จะได้

$$\sum (v/s) = \max(NBLT + SB, SBLT + NB) = \max(0.18 + 0.23, 0.20 + 0.27) = 0.47$$

ในกรณีนี้ จังหวะสัญญาณไฟจราจรควรเป็น

จังหวะสัญญาณไฟจราจร	ทิศทางการได้สัญญาณไฟเขียว
1	(<i>NBLT, SBLT</i>)
2	(<i>NB, SB</i>)

จากนั้น สามารถหาค่าระยะเวลา 1 รอบสัญญาณไฟจราจร (Cycle length) ตามวิธีของ
 Webster ได้จากสมการต่อไปนี้

$$C = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_i (v_a / s)_{ci}} \quad (4.28)$$

- โดยที่ C = ระยะเวลา 1 รอบสัญญาณไฟจราจร หน่วย วินาที
 L = เวลาสูญเสีย (Lost time) หน่วย วินาที โดยทั่วไปจะเท่ากับผลรวมของระยะเวลาไฟเหลืองของทุกขาทางแยก และผลรวมทั้งหมดของระยะเวลาช่วงที่เปลี่ยนจากไฟแดงเป็นไฟเขียว
 $(v_a / s)_{ci}$ = สัดส่วนของปริมาณจราจรวิกฤติและค่าการไหลอิมิตัว

ตัวอย่างที่ 4.3 ค่าสัดส่วนปริมาณจราจรและการไหลอิมิตัวสำหรับแต่ละทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสจราจรในทางแยกแห่งหนึ่งดังแสดงด้านล่าง จงคำนวณระยะเวลาหนึ่งรอบสัญญาณไฟจราจรที่น้อยที่สุด และกำหนดจังหวะสัญญาณไฟจราจรด้วยวิธี Webster กำหนดให้เวลาสูญเสียเปล่าซึ่งเป็นช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลืองของจังหวะการเปลี่ยนสัญญาณไฟของแต่ละขาของทางแยกเท่ากับ 3 วินาที และระยะเวลาของจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่น้อยที่สุดเท่ากับ 15 วินาที (Bank, 2004)

ทิศทางเคลื่อนที่	<i>NBLT</i>	<i>SBLT</i>	<i>NB</i>	<i>SB</i>	<i>EB</i>	<i>WB</i>
ค่าสัดส่วน v/s	0.18	0.20	0.28	0.31	0.27	0.29

1) หาค่าสัดส่วนอัตราการไหลวิกฤติ

$$\begin{aligned} NBLT + SB &= 0.18 + 0.31 = 0.49 && \text{(วิกฤติ)} \\ SBLT + NB &= 0.20 + 0.28 = 0.48 \\ EB &= 0.27 \\ WB &= 0.29 && \text{(วิกฤติ)} \end{aligned}$$

2) กำหนดจังหวะสัญญาณไฟจราจร

กำหนดให้มี Overlap สำหรับจังหวะที่ 1 และ 2

$$\begin{aligned} \text{จังหวะที่ 1} & \quad NBLT + SBLT \\ \text{จังหวะที่ 1a} & \quad SBLT + SB \\ \text{จังหวะที่ 2} & \quad SB + NB \\ \text{จังหวะที่ 3} & \quad EB + WB \end{aligned}$$

3) หาระยะเวลา 1 รอบสัญญาณไฟจราจร

$$C = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_i (v_a / s)_{ci}} = \frac{1.5(3 \times 3) + 5}{1 - (0.49 + 0.29)} = \frac{18.5}{1 - 0.78} = 84.1 \text{ วินาที ใช้ } 85 \text{ วินาที}$$

4) หาค่าสัดส่วนระยะเวลาสัญญาณไฟเหลืองต่อระยะเวลา 1 รอบสัญญาณไฟจราจร

$$\frac{Y}{C} = \frac{3}{85} = 0.035 \text{ ใช้ } 0.04$$

ค่าสัดส่วนระยะเวลาสัญญาณไฟเหลืองต่อระยะเวลา 1 รอบสัญญาณไฟจราจร = $3 \times 0.04 = 0.12$

5) กระจายระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวทั้งหมดไปยังแต่ละจังหวะสัญญาณไฟจราจร

$$\text{Total } \frac{G}{C} = 1 - 0.12 = 0.88$$

จังหวะที่ 1 และ 2 (Overlapping)

$$NBLT \quad \left(\frac{0.18}{0.78} \right) \times 0.88 = 0.20$$

$$SBLT \quad \left(\frac{0.20}{0.78} \right) \times 0.88 = 0.23$$

$$SB \quad \left(\frac{0.31}{0.78} \right) \times 0.88 = 0.35$$

$$NB \quad \left(\frac{0.28}{0.78} \right) \times 0.88 = 0.32$$

จังหวะที่ 3

$$WB \quad \left(\frac{0.29}{0.78} \right) \times 0.88 = 0.33$$

6) ตรวจสอบค่าสัดส่วน G/C

จังหวะที่ 1	$NBLT + SBLT$	0.20	
จังหวะที่ 1a	$SBLT + SB$	0.03	
จังหวะที่ 2	$SB + NB$	0.32	
จังหวะที่ 3	$EB + WB$	<u>0.33</u>	
รวม		0.88	OK

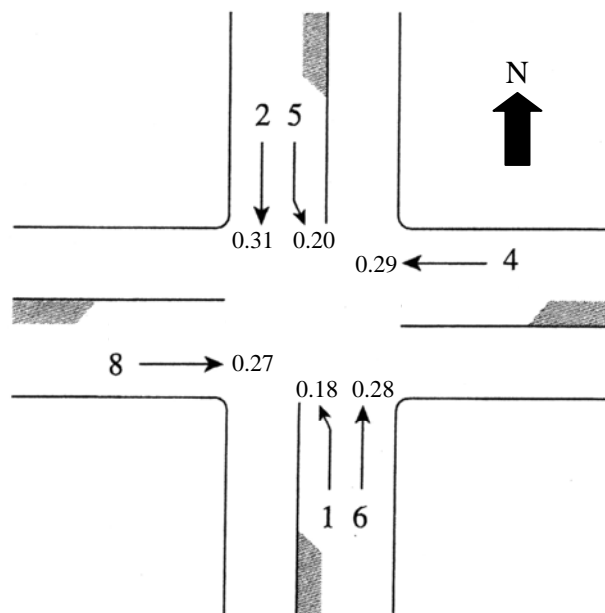
7) ตรวจสอบระยะเวลาของจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่น้อยที่สุด

$$0.20 \times 85 = 17 \text{ วินาที} > 15 \text{ วินาที OK}$$

8) ระยะเวลาแต่ละจังหวะสัญญาณไฟจราจร

จังหวะสัญญาณไฟจราจร	สัดส่วนระยะเวลาสัญญาณไฟจราจร	ระยะเวลา (วินาที)
จังหวะที่ 1	0.20	$0.20 \times 85 = 17.0$
จังหวะที่ 1a	0.03	$0.03 \times 85 = 2.55$
ไฟเหลือง	0.04	$0.04 \times 85 = 3.40$
จังหวะที่ 2	0.32	$0.32 \times 85 = 27.2$
ไฟเหลือง	0.04	$0.04 \times 85 = 3.40$
จังหวะที่ 3	0.33	$0.33 \times 85 = 28.05$
ไฟเหลือง	0.04	$0.04 \times 85 = 3.40$
รวม	1.00	$1.00 \times 85 = 85.0$
ระยะเวลา 1 รอบสัญญาณไฟจราจร 85 วินาที		

9) แผนภาพจังหวะและระยะเวลาสัญญาณไฟจราจร



แผนภาพจังหวะสัญญาณไฟจราจร

Phase 1	Phase 1a	Phase 2	Phase 3
NBLT + SBLT	SBLT + SB	SB + NB	EB + WB

แผนภาพระยะเวลาสัญญาณไฟจราจร

	19.55	22.95	50.15	53.55	81.6	85.0
G	Y	R				
R		G	Y	R		
R				G	Y	

การออกแบบจังหวะสัญญาณไฟจราจรอีกวิธีหนึ่ง ได้แก่ วิธีของ Highway Capacity Manual วิธีดังกล่าวสามารถหาระยะเวลา 1 รอบสัญญาณไฟจราจรได้จากสมการต่อไปนี้

$$X_c = \sum_i (v_a / s)_i + \frac{L(v_a / s)_c}{g_c} \tag{4.29}$$

และ

$$C = \frac{LX_c}{X_c - \sum_i (v_a / s)_{ci}} \tag{4.30}$$

โดยที่ X_c = สัดส่วนค่าอิมตัววิกฤติของทางแยก
 g_c = ระยะเวลาของจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่น้อยที่สุด หน่วย วินาที
 $(v_a / s)_c$ = สัดส่วนของปริมาณจราจรและค่าการไหลอิมตัวของระยะเวลาของจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่น้อยที่สุด

ตัวอย่างที่ 4.4 ค่าสัดส่วนปริมาณจราจรและการไหลอิมตัวสำหรับแต่ละทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสจราจรในทางแยกแห่งหนึ่งดังแสดงด้านล่าง จงคำนวณระยะเวลาหนึ่งรอบสัญญาณไฟจราจรที่น้อยที่สุด และกำหนดจังหวะสัญญาณไฟจราจรด้วยวิธี Highway Capacity Manual กำหนดให้เวลาสูญเสียล่าช้าซึ่งเป็นช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลืองของจังหวะการเปลี่ยนสัญญาณไฟของแต่ละขาของทางแยกเท่ากับ 3 วินาที ระยะเวลาของจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่น้อยที่สุดเท่ากับ 15 วินาที และสัดส่วนค่าอิมตัววิกฤติของทางแยกมีค่าไม่เกิน 0.85 (Bank, 2004)

ทิศทางการเคลื่อนที่	NBLT	SBLT	NB	SB	EB	WB
ค่าสัดส่วน v/s	0.18	0.16	0.22	0.25	0.20	0.22

1) หาค่าสัดส่วนอัตราการไหลวิกฤติ

$$\begin{aligned} NBLT + SB &= 0.18 + 0.25 = 0.43 \quad (\text{วิกฤติ}) \\ SBLT + NB &= 0.16 + 0.22 = 0.38 \\ EB &= 0.20 \\ WB &= 0.22 \quad (\text{วิกฤติ}) \end{aligned}$$

2) กำหนดจังหวะสัญญาณไฟจราจร

ไม่มี Overlap phase

จังหวะที่ 1 $NBLT + SBLT$

จังหวะที่ 2 $SB + NB$

จังหวะที่ 3 $EB + WB$

3) ตรวจสอบข้อกำหนดที่ควบคุมโดยระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวน้อยที่สุด

เวลาสัญญาณไฟเขียวทั้งหมด = $3 \times 3 = 9$ วินาที

$$X_c = \sum_i (v_a/s)_i + \frac{L(v_a/s)_c}{g_c} = (0.18 + 0.25 + 0.22) + \frac{9(0.18)}{15} = 0.758 < 0.85 \text{ อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้}$$

4) หาระยะเวลา 1 รอบสัญญาณไฟจราจร

$$C = \frac{LX_c}{X_c - \sum_i (v_a/s)_{ci}} = \frac{9 \times 0.758}{0.758 - (0.18 + 0.25 + 0.22)} = 63.2 \text{ วินาที}$$

5) หาระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวแต่ละจังหวะสัญญาณไฟจราจร

$$\text{Green time / phase} = \frac{(v_a/s)_c \times C}{X_c} \tag{4.31}$$

จังหวะที่ 1 $\frac{0.18 \times 63.2}{0.758} = 15.0$ วินาที

จังหวะที่ 2 $\frac{0.25 \times 63.2}{0.758} = 20.8$ วินาที

จังหวะที่ 3 $\frac{0.22 \times 63.2}{0.758} = 18.3$ วินาที

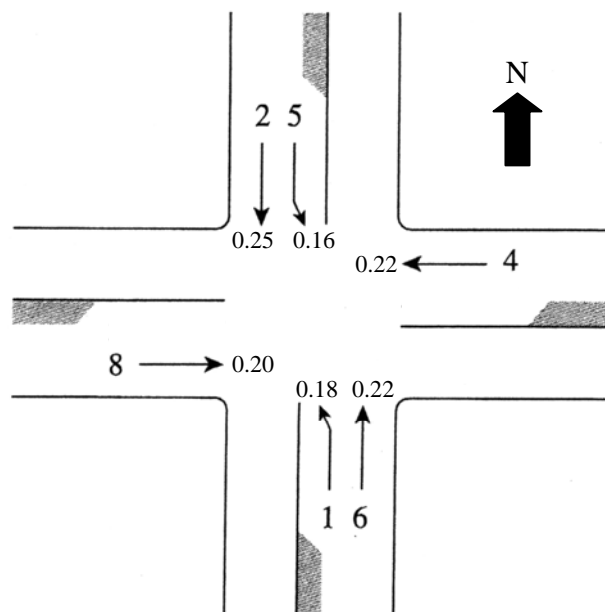
รวมช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวทั้งหมด = $15.0 + 20.8 + 18.3 + 9.0 = 63.1 < 63.2$ OK

เพิ่ม 0.1 วินาที ที่จังหวะใดก็ได้ ในที่นี้เลือกจังหวะที่ 2

6) ระยะเวลาแต่ละจังหวะสัญญาณไฟจราจร

จังหวะสัญญาณไฟจราจร	ระยะเวลา (วินาที)
จังหวะที่ 1	15.0
ไฟเหลือง	3.0
จังหวะที่ 2	20.9
ไฟเหลือง	3.0
จังหวะที่ 3	18.3
ไฟเหลือง	3.0
รวม	63.2
ระยะเวลา 1 รอบสัญญาณไฟจราจร 63.2 วินาที	

7) แผนภาพจังหวะและระยะเวลาสัญญาณไฟจราจร



แผนภาพจังหวะสัญญาณไฟจราจร

Phase 1	Phase 2	Phase 3
NBLT + SBLT	SB + NB	EB + WB

แผนภาพระยะเวลาสัญญาณไฟจราจร

	15.0	18.0	88.9	41.9	60.2	63.2
G	Y	R				
R		G	Y	R		
R				G	Y	

การเคลื่อนตัวออกมาเป็นกลุ่มเมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียวของขบวนที่สะสมตัวในช่วงสัญญาณไฟแดงนั้น เรียกว่า Platoon จากตัวอย่างที่ 4.3 และ 4.4 ตัวแปรที่จำเป็นในการออกแบบสัญญาณไฟจราจรทั้งวิธี Webster และวิธี Highway Capacity Manual ก็คือ ค่าการไหลอิ่มตัว (Saturation flow) ค่าดังกล่าวจะอธิบายพฤติกรรมของผู้ขับขี่ในการเคลื่อนที่ออกจากเส้นหยุดของทางแยก และบ่งบอกถึงอัตราการให้บริการของทางแยก นั่นคือ จำนวนขบวนมากที่สุดที่สามารถผ่านทางแยกไปได้ใน 1 ชั่วโมง โดยสมมติว่าการเคลื่อนที่นั้นได้รับสัญญาณไฟเขียวอย่างต่อเนื่อง และมีจำนวนขบวนในแถวคอยวิ่งตามกันมาอย่างต่อเนื่อง มีหน่วยเป็น คันต่อชั่วโมงของช่วงสัญญาณไฟเขียว (Vehicles per hour of green) ในการหาค่าการไหลอิ่มตัว จะใช้ตารางสำหรับการบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูลดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.26

จากรูปที่ 4.26 ในการสำรวจข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณการไหลอิ่มตัว Highway Capacity Manual แนะนำให้ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 15 รอบสัญญาณไฟ $T4$ คือ เวลาที่เพลาท้ายของรถยนต์คันที่ 4 เคลื่อนผ่านเส้นอ้างอิงเข้ามาในพื้นที่ของทางแยก N คือ จำนวนขบวน (โดยมากได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล) ทั้งหมดที่วิ่งผ่านเข้ามาในพื้นที่ทางแยก และ Tn คือ เวลาทั้งหมดที่ขบวน N คัน ใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านเข้ามาในพื้นที่ทางแยก จากข้อมูลดังกล่าว Highway Capacity Manual ได้เสนอสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าช่วงห่างเฉลี่ย (Average headway) และค่าการไหลอิ่มตัวของแต่ละรอบสัญญาณไฟ ได้ต่อไปนี้

$$Average\ headway = \frac{Tn - T4}{N - 4} \tag{4.32}$$

$$Saturation\ flow\ rate = \frac{3,600}{Average\ headway} \tag{4.33}$$

ชื่อทางแยก เมือง.....							
วันที่ เวลา ช่องจราจร							
รอบสัญญาณไฟ	T4	N	Tn	ช่วงห่างเฉลี่ย (วินาที)	การไหลล้มตัว (คันต่อชั่วโมงของช่วงไฟเขียว)	ความล่าช้าช่วงออกตัว (วินาที)	ระยะเวลาระหว่างแถวคอย (วินาที)
1	9.2	10	21.0	1.97	1,831	1.33	0
2	9.4	15	33.9	2.23	1,616	0.49	3.9
3	9.7	8	17.0	1.83	1,972	2.40	0
4	9.9	10	22.1	2.03	1,770	1.77	0
5	9.9	8	17.5	1.90	1,895	2.30	0
6	9.5	9	19.7	2.04	1,765	1.34	0
7	9.4	11	23.5	2.01	1,787	1.34	0
8	9.2	10	21.0	1.97	1,831	1.33	0
9	9.4	15	33.9	2.23	1,616	0.49	3.9
10	9.7	8	17.0	1.83	1,972	2.40	0
11	9.9	10	22.1	2.03	1,770	1.77	0
12	9.9	8	17.5	1.90	1,895	2.30	0
13	9.5	9	19.7	2.04	1,765	1.34	0
14	9.4	11	23.5	2.01	1,787	1.34	0
15	9.5	9	19.7	2.04	1,765	1.34	0
เฉลี่ย				2.00	1,803	1.55	

รูปที่ 4.26 ตารางบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์การไหลล้มตัว

ที่มา: คัดแปลงจาก Currin (2001)

จากข้อมูลในรูปที่ 4.26 และสมการที่ 4.32 และ 4.33 จะได้

พิจารณารอบสัญญาณไฟที่ 1

$$Average\ headway = \frac{21.0 - 9.2}{10 - 4} = 1.97 \text{ วินาทีต่อคัน}$$

$$Saturation\ flow\ rate = \frac{3,600}{1.97} = 1,831 \text{ คันต่อชั่วโมงของช่วงสัญญาณไฟเขียว}$$

คำนวณค่าดังกล่าวถูกรอบสัญญาณไฟ จากรูปที่ 4.26 จะได้ค่าการไหลล้มตัวเฉลี่ยเท่ากับ 1,803 คันต่อชั่วโมงของช่วงสัญญาณไฟเขียว โดยทั่วไป ค่าการไหลล้มตัวจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1,700 ถึง 2,000 คันต่อชั่วโมงของช่วงสัญญาณไฟเขียว ในกรณีที่ไม่สามารถตรวจสอบข้อมูลจราจรได้จากการสำรวจภาคสนาม Highway Capacity Manual แนะนำให้ใช้ค่าการไหลล้มตัวเท่ากับ 1,900 คันต่อชั่วโมงของช่วงสัญญาณไฟเขียว เป็นค่ามาตรฐานในการออกแบบ

ข้อมูลจากรูปที่ 4.26 ยังสามารถนำไปคำนวณหาความล่าช้าที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่รถออกตัวเมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียว ซึ่งเกิดจากเวลาที่สูญเสียไปเพื่อใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่ของขบวนเมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียว โดยค่าความล่าช้าช่วงออกตัว (Startup delay) สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{Startup delay} = T4 - 4(\text{Average headway}) \quad (4.34)$$

ดังนั้น จากรูปที่ 4.26 เมื่อพิจารณารอบสัญญาณไฟที่ 1 จะได้ความล่าช้าช่วงออกตัว เท่ากับ

$$\text{Startup delay} = 9.2 - 4(1.97) = 1.33 \text{ วินาที}$$

ทำการคำนวณความล่าช้าช่วงออกตัวทุกรอบสัญญาณไฟ จากนั้นหาค่าเฉลี่ย จะได้ ความล่าช้าช่วงออกตัวเฉลี่ย เท่ากับ 1.55 วินาที จากนั้น เราสามารถคำนวณช่วงสัญญาณไฟเขียวประสิทธิภาพ (Effective green) และความจุของช่องจราจร (Lane capacity) ได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{Effective green time} = \text{Maximum green} - \text{Startup delay} + \text{Clearance time used} \quad (4.35)$$

$$\text{Lane capacity} = [\text{Effective green time} / \text{Cycle length}] \times \text{Saturation flow rate} \quad (4.36)$$

ช่วงสัญญาณไฟเขียวประสิทธิภาพ คือ ช่วงเวลาทั้งหมดในรอบสัญญาณไฟที่ขบวนสามารถเคลื่อนที่ได้โดยตลอด สมมติให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่มากที่สุดเท่ากับ 30 วินาที และระยะเวลา 1 รอบสัญญาณไฟเท่ากับ 90 วินาที จะได้

$$\text{Effective green time} = 30 - 1.55 + 0 = 28.45 \text{ วินาที}$$

$$\text{Lane capacity} = [28.45 / 90] \times 1,803 = 570 \text{ คันต่อชั่วโมง}$$

คำถามท้ายบท

1. จงอธิบายความหมายของวิศวกรรมจราจรรวมถึงขอบเขตความรับผิดชอบของวิศวกรที่ปฏิบัติงานด้านนี้
2. จงอธิบายความหมายของปริมาณจราจร และการไหลกระแสจราจร สองคำนี้มีความหมายต่างกันอย่างไร จงอธิบาย
3. จงอธิบายความหมายของ Time mean speed (TMS) และ Space mean speed (SMS)
4. ความหนาแน่นของการจราจรคืออะไร จงอธิบาย
5. ถ้าท่านทราบค่าระยะห่าง (Spacing) และช่วงห่าง (Headway) จากข้อมูลดังกล่าว ท่านจะสามารถหาค่าความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรได้อย่างไร จงอธิบาย
6. จงอธิบายความหมายของเวลาในการเดินทาง (Travel time) เวลาที่รถใช้ในการเคลื่อนที่ (Running time) ความเร็วในการเดินทาง (Travel speed) และความเร็วที่รถใช้ในการเคลื่อนที่ (Running speed)
7. จงอธิบายความสัมพันธ์พื้นฐานของตัวแปรที่ใช้อธิบายกระแสจราจร พร้อมวาดภาพประกอบ
8. กำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นของกระแสจราจรเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$u = 54.5 - 0.24k$$

จงประมาณค่า q_{max} u_m และ k_j

9. ระดับการให้บริการคืออะไร จงอธิบาย
10. ในการสำรวจข้อมูลจราจรครั้งหนึ่ง ทำการบันทึกข้อมูลรถยนต์ 5 คัน ที่วิ่งผ่านแนวอ้างอิง X-X ไปยังแนวอ้างอิง Y-Y ที่ห่างกัน 1,500 เมตร โดยพบว่าเวลาที่ห่างกันระหว่างรถยนต์แต่ละคันเท่ากับ 3 4 3 และ 5 วินาที ตามลำดับ และความเร็วของรถยนต์แต่ละคันเท่ากับ 50 45 40 35 และ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าว จงหา Time mean speed (TMS) Space mean speed (SMS) ความหนาแน่น และปริมาณจราจร
11. ค่าสัดส่วนปริมาณจราจรและการไหลอ้อมตัวสำหรับแต่ละทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสจราจรในทางแยกแห่งหนึ่งดังแสดงด้านล่าง จงคำนวณระยะเวลาหนึ่งรอบสัญญาณไฟจราจรที่น้อยที่สุด และกำหนดจังหวะสัญญาณไฟจราจรด้วยวิธี Webster กำหนดให้เวลาสัญญาณเปล่าซึ่งเป็นช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลืองของจังหวะการเปลี่ยนสัญญาณไฟของแต่ละขาของทางแยกเท่ากับ 3 วินาที และระยะเวลาของจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่น้อยที่สุดเท่ากับ 15 วินาที (Bank, 2004)

ทิศทางการเคลื่อนที่	NBLT	SBLT	NB	SB	EB	WB
ค่าสัดส่วน v/s	0.17	0.15	0.34	0.31	0.27	0.31

12. ค่าสัดส่วนปริมาณจราจรและการไหลอ้อมตัวสำหรับแต่ละทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสจราจรในทางแยกแห่งหนึ่งดังแสดงด้านล่าง จงคำนวณระยะเวลาหนึ่งรอบสัญญาณไฟจราจรที่น้อยที่สุด และกำหนดจังหวะสัญญาณไฟจราจรด้วยวิธี Highway Capacity Manual กำหนดให้เวลาสูญเสียเปล่าซึ่งเป็นช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลืองของจังหวะการเปลี่ยนสัญญาณไฟของแต่ละขาของทางแยกเท่ากับ 3 วินาที ระยะเวลาของจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่น้อยที่สุดเท่ากับ 15 วินาที และสัดส่วนค่าอ้อมตัววิกฤติของทางแยกมีค่าไม่เกิน 0.80 (Bank, 2004)

ทิศทางการเคลื่อนที่	<i>NBLT</i>	<i>SBLT</i>	<i>NB</i>	<i>SB</i>	<i>EB</i>	<i>WB</i>
ค่าสัดส่วน v/s	0.13	0.12	0.26	0.28	0.24	0.22

13. การไหลอ้อมตัวคืออะไร สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมจราจรได้อย่างไร

14. ปัจจุบันมีการนำระบบสัญญาณไฟจราจรแบบนับถอยหลัง (Countdown traffic signal) มาใช้ควบคุมกระแสจราจรตามทางแยกต่างๆ ท่านคิดว่าสัญญาณไฟจราจรที่วุ้นี้ สามารถทำให้ความล่าช้าช่วงออกตัวของขบวนรถลดลงได้หรือไม่ และสามารถทำให้ประสิทธิภาพและระดับการให้บริการโดยรวมของทางแยกเพิ่มขึ้นหรือลดลงหรือไม่ จงอธิบาย