

การควบคุมสัญญาณไฟจราจรเบื้องต้น

นายพลเทพ เลิศวรวนิช

ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง

๓ สิงหาคม ๒๕๖๙

หัวข้อนำเสนอ

- สัญญาณไฟจราจรเบื้องต้น
- ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรในปัจจุบัน
  - หลักการและข้อจำกัด
- การคำนวณค่าสัญญาณไฟจราจรเบื้องต้น

ความสำคัญและเหตุผล

- การจราจรติดขัด (Traffic Congestion)
  - พบได้ทั่วไปในเมืองใหญ่
  - ความล่าช้าบริเวณทางแยก (Intersection delay) → ปัจจัยหลัก
  - ความสะดวกในการเดินทางลดลง (Reduction in mobility)
  - ความสูญเสียเวลาและทรัพยากร
- ระบบการจัดการจราจร
  - การเพิ่มความจุของถนนด้วยการก่อสร้าง → ราคาแพง (เวลาและงบประมาณ)
  - การประยุกต์ใช้ ITS (Intelligent Transportation System)
    - การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบเป็นพื้นที่ (ATC)

สัญญาณไฟจราจร

- สัญญาณไฟจราจรตัวแรกติดตั้งที่ลอนดอน ประเทศอังกฤษในปี ค.ศ. 1868
- ควบคุมกระแสจราจรที่ตัดกัน
- เพื่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพ

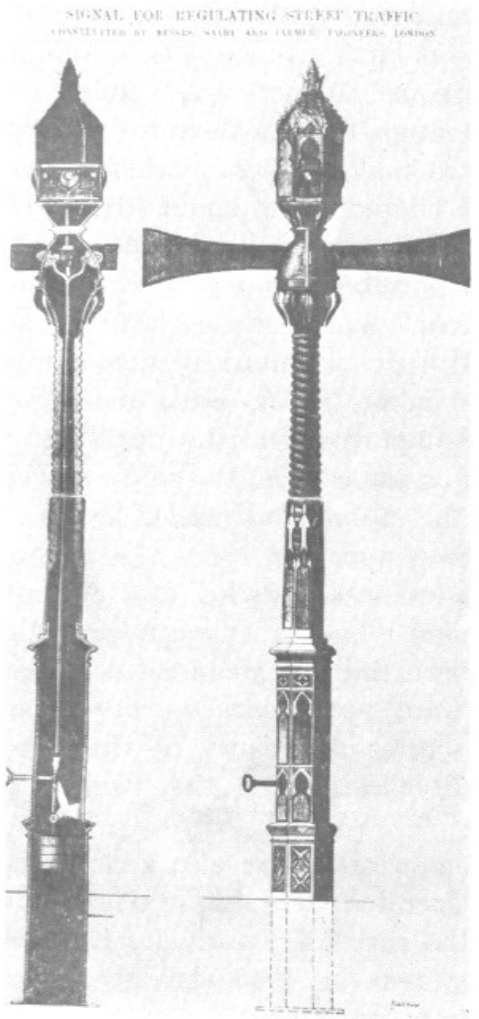
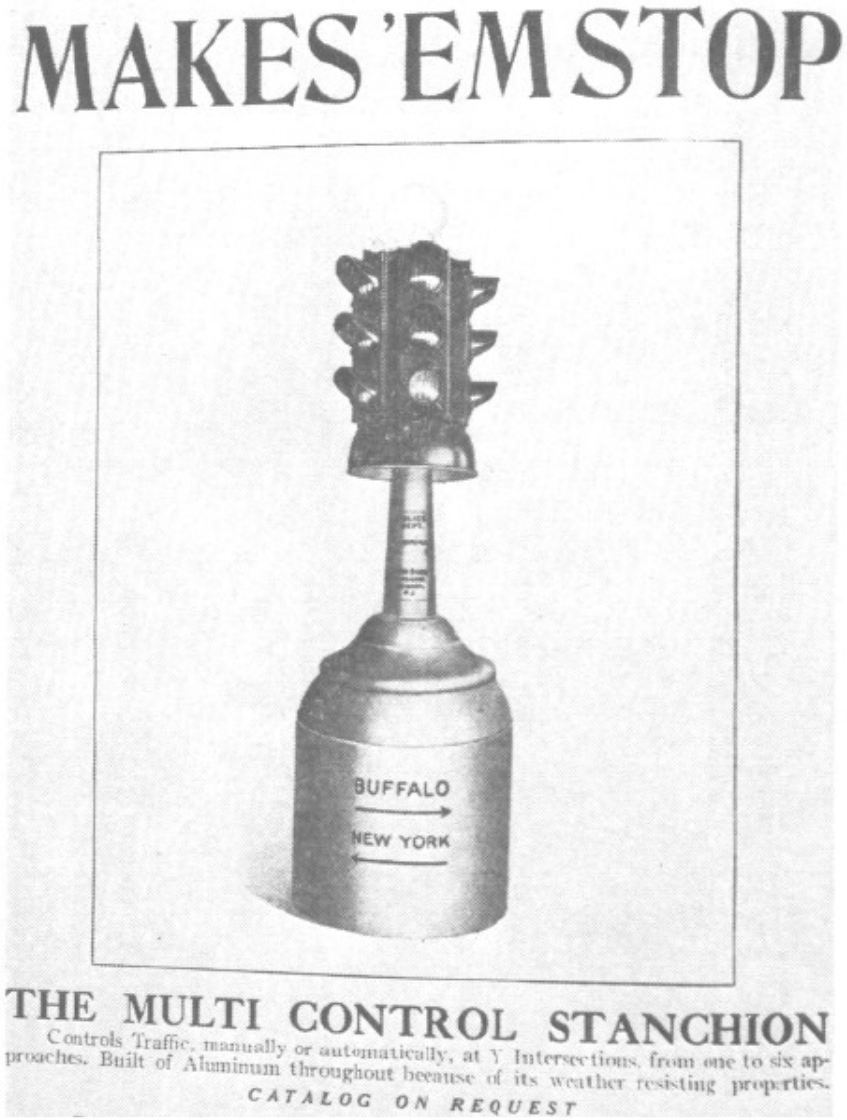


Fig. 1. "Handsome" hydra-headed semaphore of 1868 install
safeguard members of Parliament. It was crowned with gas l
arms extended horizontally meant "stop," arms at 45 d
angle meant "caution."

สัญญาณไฟจราจร



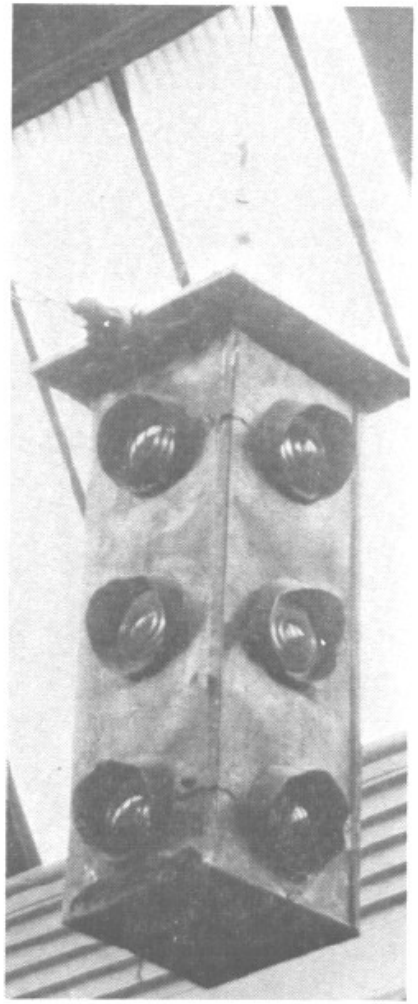
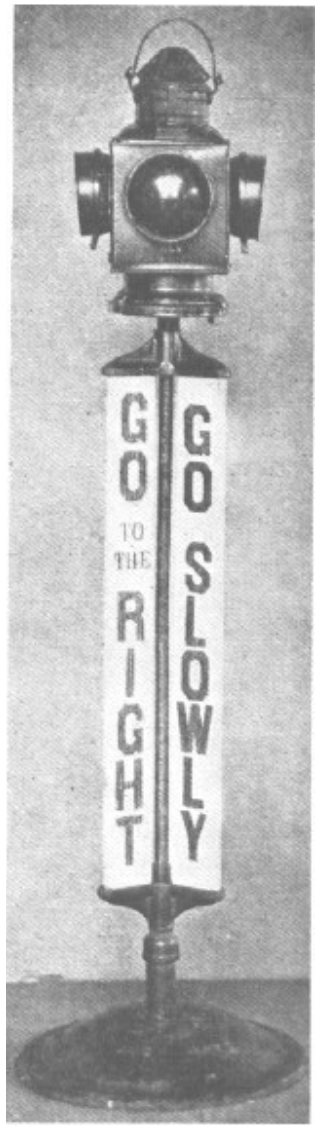
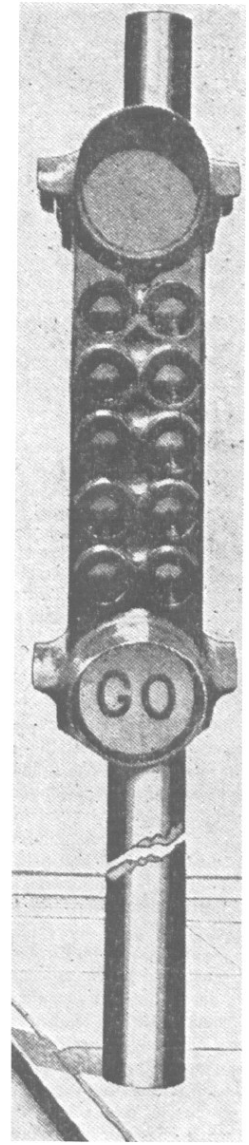


Fig. 8. William Potts' original "red," "yellow," and "green" traffic signal, now at Greenfield Village, Detroit. (Courtesy of the Henry Ford Museum, Dearborn, Mich.)

สัญญาณไฟจราจร







ประเภทของการควบคุมจราจรบริเวณทางแยก

- ✓ไม่มีการควบคุม (วัดใจ)
- ✓ป้ายให้ทาง (วงเวียน)
- ✓ป้ายหยุด
  - ✓ติดตั้งที่ถนนทางโท (Two-way Stop Control)
  - ✓ติดตั้งทุกทิศทาง (All-way Stop Control)
- ✓สัญญาณไฟจราจร

ทางแยกประเภทป้ายหยุดหรือให้ทาง

ความจุ (Capacity) ของถนนทางโท (Minor Road) ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 2 ประการ

1.การกระจายของระยะห่างระหว่างรถยนต์ (Gap) ที่มาจากถนนสายหลัก

- ปริมาณการจราจรบนถนนสายหลัก
- จำนวนช่องจราจร
- การกระจายรถยนต์ในกลุ่ม (Type of Platoon)

2.ขนาดของ Gap ที่ผู้ขับขี่บนถนนสายรองต้องการในการเลี้ยวเข้าสู่ถนนสายหลัก

- พฤติกรรมการขับขี่
- ประเภทของการเลี้ยว (ซ้าย ขวา หรือ กลับรถ)
- ระยะการมองเห็น

ทฤษฎีทางวิศวกรรมจราจรที่เกี่ยวข้องคือ Gap Acceptance Theory

เหตุอันควรในการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร

1 หลักเกณฑ์ความปลอดภัย (ข้อใดข้อหนึ่ง)



1.1 มีรายงานอุบัติเหตุต่อเนื่อง ในระยะ 12 เดือน ตั้งแต่ 5 ครั้งขึ้นไป ที่ทางแยก ในรัศมี 200 เมตร นับจากจุดกึ่งกลางทางแยก



1.2 มีโรงเรียนตั้งอยู่ใกล้ทางแยก มีนักเรียนข้ามถนนที่ทางแยก อย่างน้อย 20 คนต่อชั่วโมง ในชั่วโมงเร่งด่วน

2 หลักเกณฑ์ปริมาณจราจร (ข้อใดข้อหนึ่ง)

	ทางเอก 2 ทิศทางรวมกัน	ทางโท (ทิศทางเดียว)
2.1	> 600 คัน/ชั่วโมง	> 200 คัน/ชั่วโมง
2.2	> 900 คัน/ชั่วโมง	> 100 คัน/ชั่วโมง
2.3	> 400 คัน/ชั่วโมง	> 300 คัน/ชั่วโมง

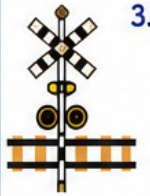


หมายเหตุ : ปริมาณจราจรเป็นปริมาณจราจรสูงสุดใน 1 ชั่วโมง

3 หลักเกณฑ์ลักษณะทางกายภาพ (ข้อใดข้อหนึ่ง)



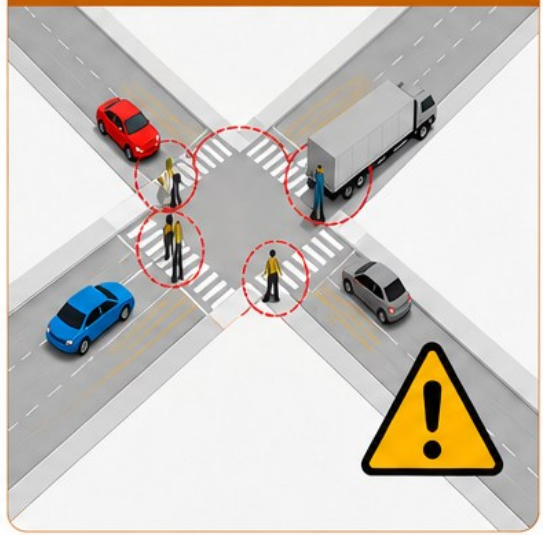
3.1 เป็นทางหลวงแผ่นดิน ลำดับชั้น 1 หรือ 2 หรือ 3 ตัดกัน หรือตัดผ่านพื้นที่เมือง (Urban Area)



3.2 มีทางข้ามทางรถไฟระดับเดียวกับถนน ที่นำไปสู่ทางแยก (รางรถไฟห่างจากแยกไม่เกิน 50 เมตร)



4 บริเวณอื่นใดที่วิศวกรหรือผู้ที่ได้รับมอบหมายพิจารณาแล้วเห็นว่า อาจเกิดอันตรายต่อผู้ใช้ทางได้หากไม่ได้ดำเนินการ



หมายเหตุ



- สำหรับหลักเกณฑ์ที่ 1 ให้แนบหลักฐานการเกิดอุบัติเหตุจากแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้
- สำหรับหลักเกณฑ์ที่ 2 ให้แนบผลการสำรวจปริมาณจราจรบริเวณทางแยก แบบแยกทิศทาง ในช่วงเวลา**เร่งด่วนเช้า (2 ชั่วโมง)** และ**เร่งด่วนเย็น (2 ชั่วโมง)** ของวันธรรมดา ยกเว้นในกรณีเป็นทางแยกที่เข้าสู่แหล่งท่องเที่ยว ให้สำรวจปริมาณจราจรบริเวณทางแยก ในชั่วโมงเร่งด่วนของ**วันหยุด**
- สำหรับหลักเกณฑ์ที่ 3 ให้แนบผลการสำรวจปริมาณจราจรเช่นกัน



NECESSARY (เงื่อนไขที่จำเป็น) | ไม่เท่ากับ SUFFICIENT (เงื่อนไขที่พอเพียง)

NECESSARY (เงื่อนไขที่จำเป็น)

ผ่านเกณฑ์การพิจารณาของกรมทางหลวง

เป็น “เงื่อนไขขั้นต่ำ” ที่ควรพิจารณา



≠

SUFFICIENT (เงื่อนไขที่พอเพียง)

ต้องวิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยอื่น ก่อนตัดสินใจติดตั้ง สัญญาณไฟจราจร เช่น

- ความปลอดภัย (Safety)
- ความล่าช้า (Delay)
- ความยาวคิว (Queue Length)
- ระดับการให้บริการ (LOS)
- รูปแบบทางแยก (Geometry)
- ผลกระทบต่อโครงข่าย (Network Impact)
- วิจารณญาณของวิศวกร (Engineering Judgment)



ที่มา : สำนักอำนวยความปลอดภัย

ทางแยกประเภทสัญญาณไฟจราจร

วัตถุประสงค์ของการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยก

- เพื่อปรับปรุงความปลอดภัยบริเวณทางแยก
- เพื่อลดความล่าช้าในการเดินทางและเพิ่มความจุ
- เพื่อให้แต่ละขาของทางแยกได้รับบริการอย่างเท่าเทียมกัน

ทางแยกประเภทสัญญาณไฟจราจร

- แบบตั้งเวลาควบคุมล่วงหน้า (Pretimed Signal Control)
- แบบตอบสนองต่อปริมาณจราจรบางส่วน (Semi-actuated Signal Control)
- แบบตอบสนองต่อปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ (Fully-actuated Signal Control)

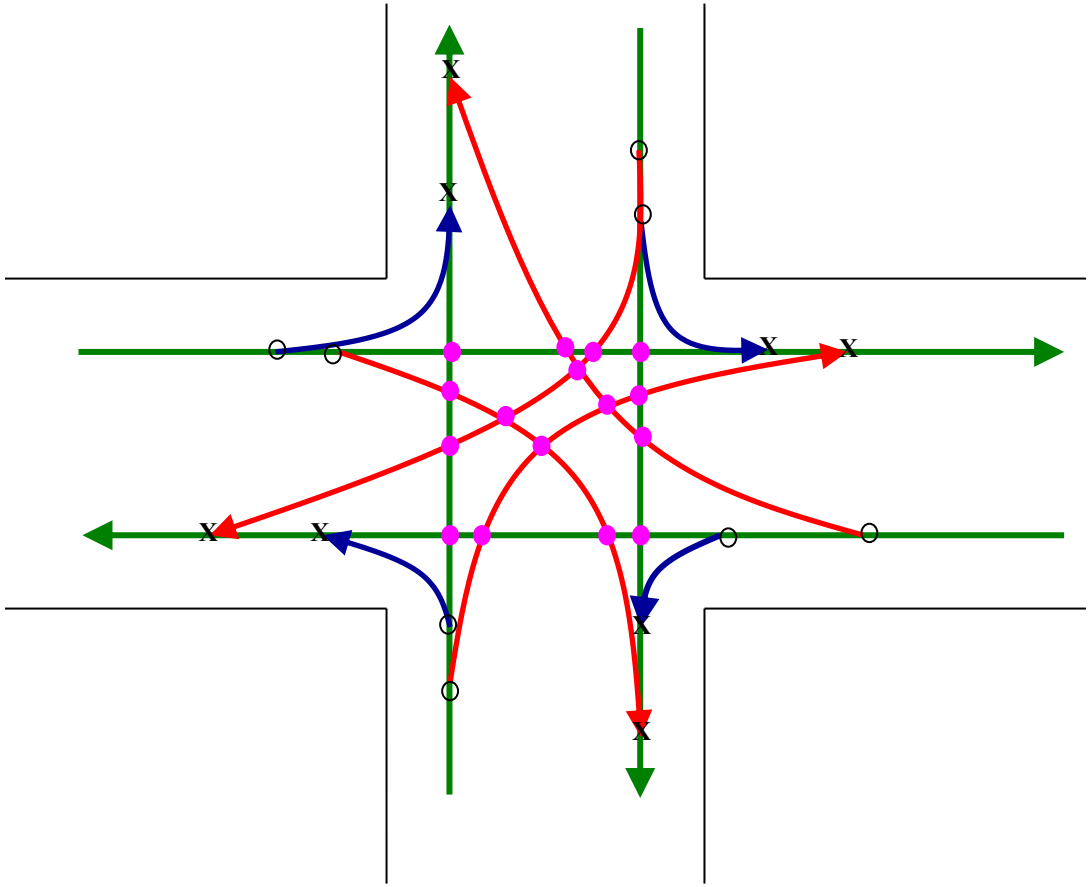
สัญญาณไฟจราจรเบื้องต้น

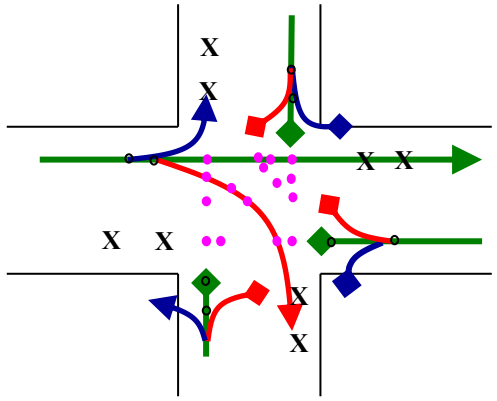
- จังหวะสัญญาณไฟจราจร (Phase)
- ความล่าช้าบริเวณทางแยก (Delay)
- พารามิเตอร์
  - ค่ารอบเวลา (Cycle length)
  - ค่าสัดส่วน (Split)
  - ค่าเหลื่อมเวลา (Offset)
- สภาพต่ำและสูงกว่าระดับอิ่มตัว (Undersaturation and Oversaturation)

ทางแยกสัญญาณไฟจราจร

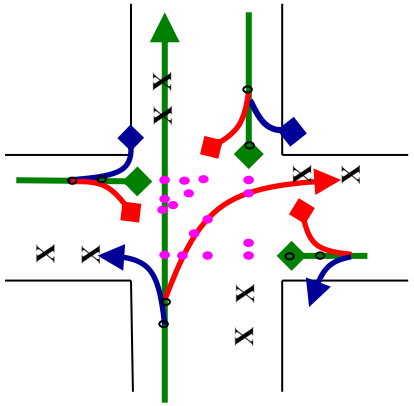
- ค่ารอบสัญญาณไฟจราจร (Cycle Length)
- จังหวะสัญญาณ (Phase)
- สัดส่วนของจังหวะสัญญาณ (Split)
- ค่าเหลื่อมเวลา (Offset) ใช้เฉพาะระบบของทางแยก

จังหวะสัญญาณไฟจราจร (Phase)

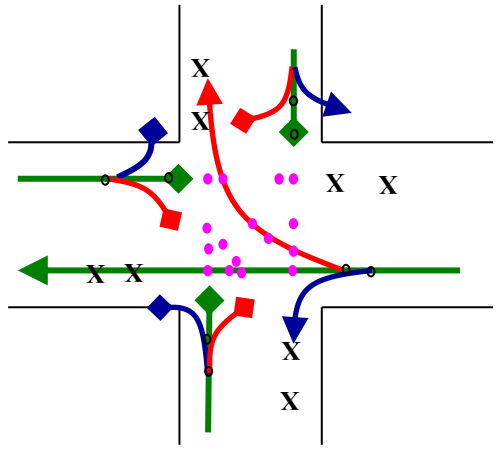




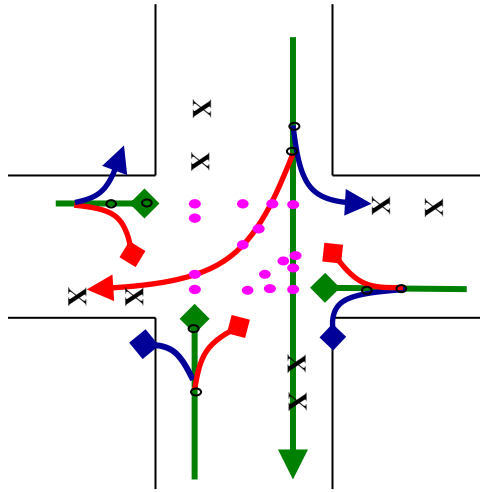
Phase 1



Phase 2

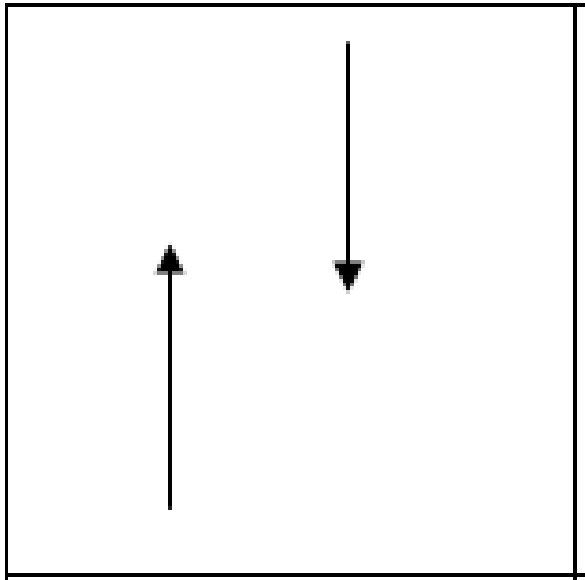
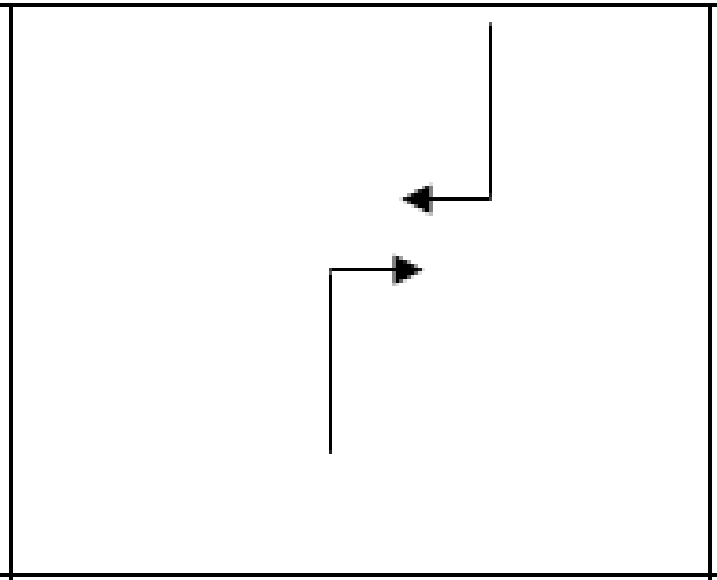
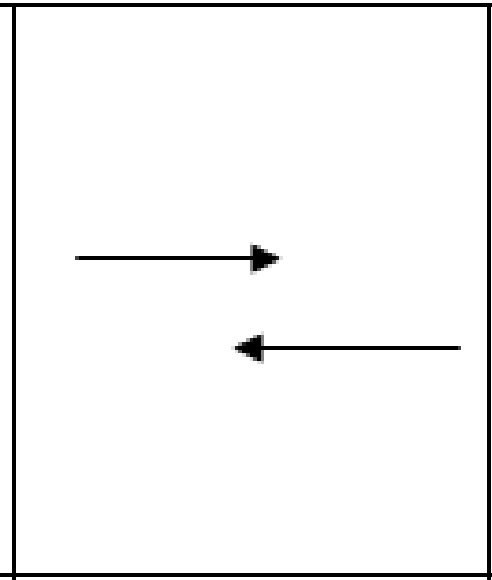
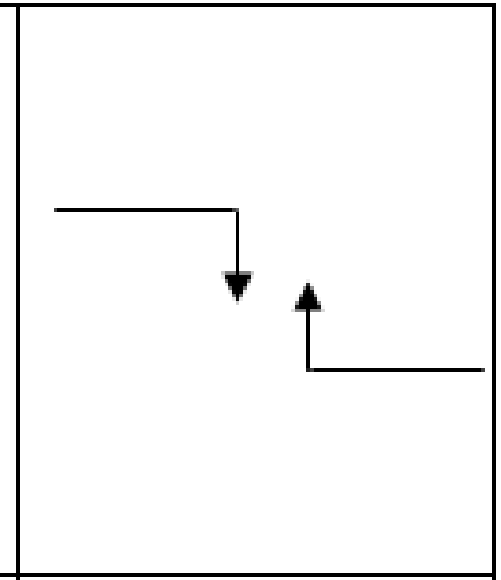


Phase 3

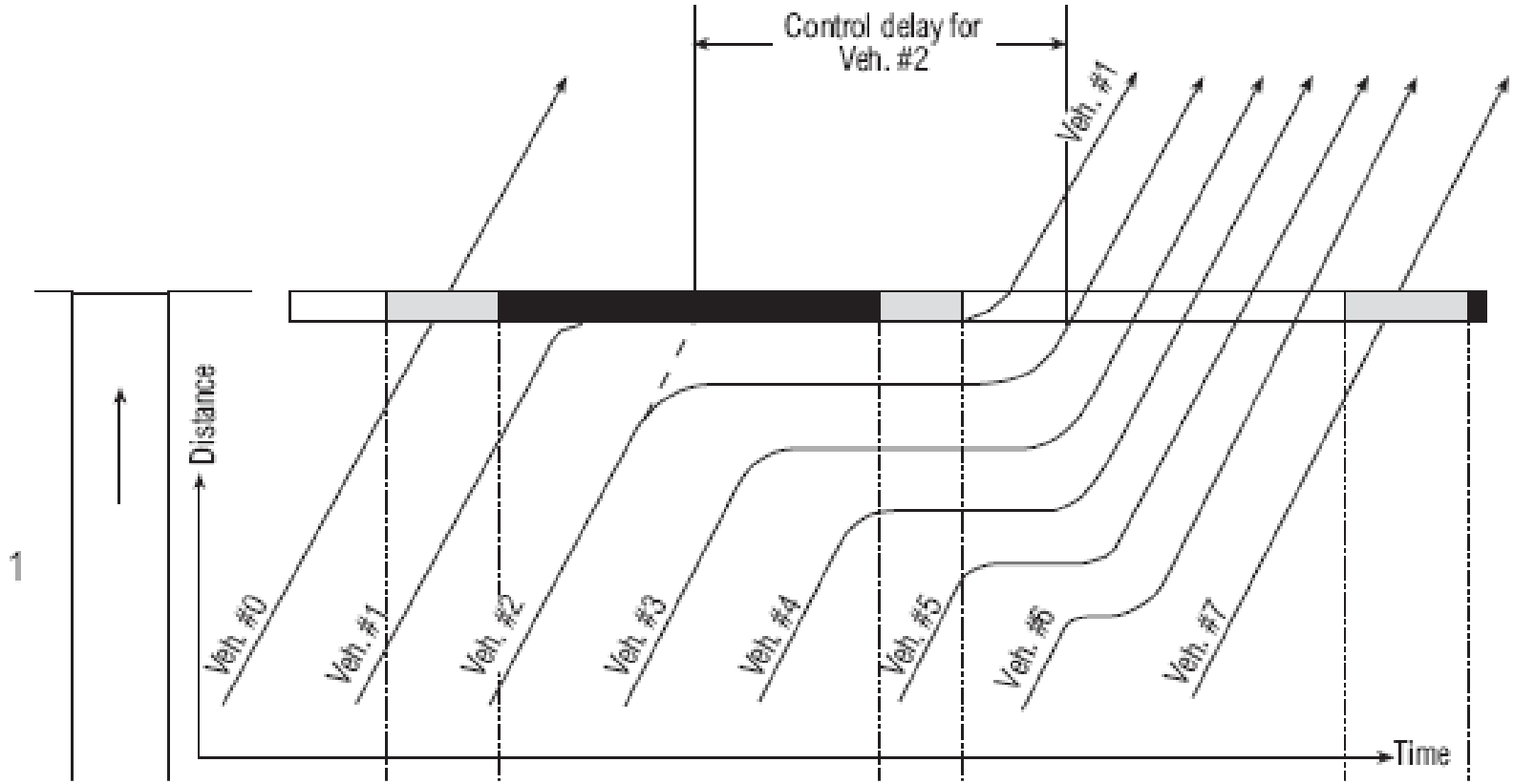


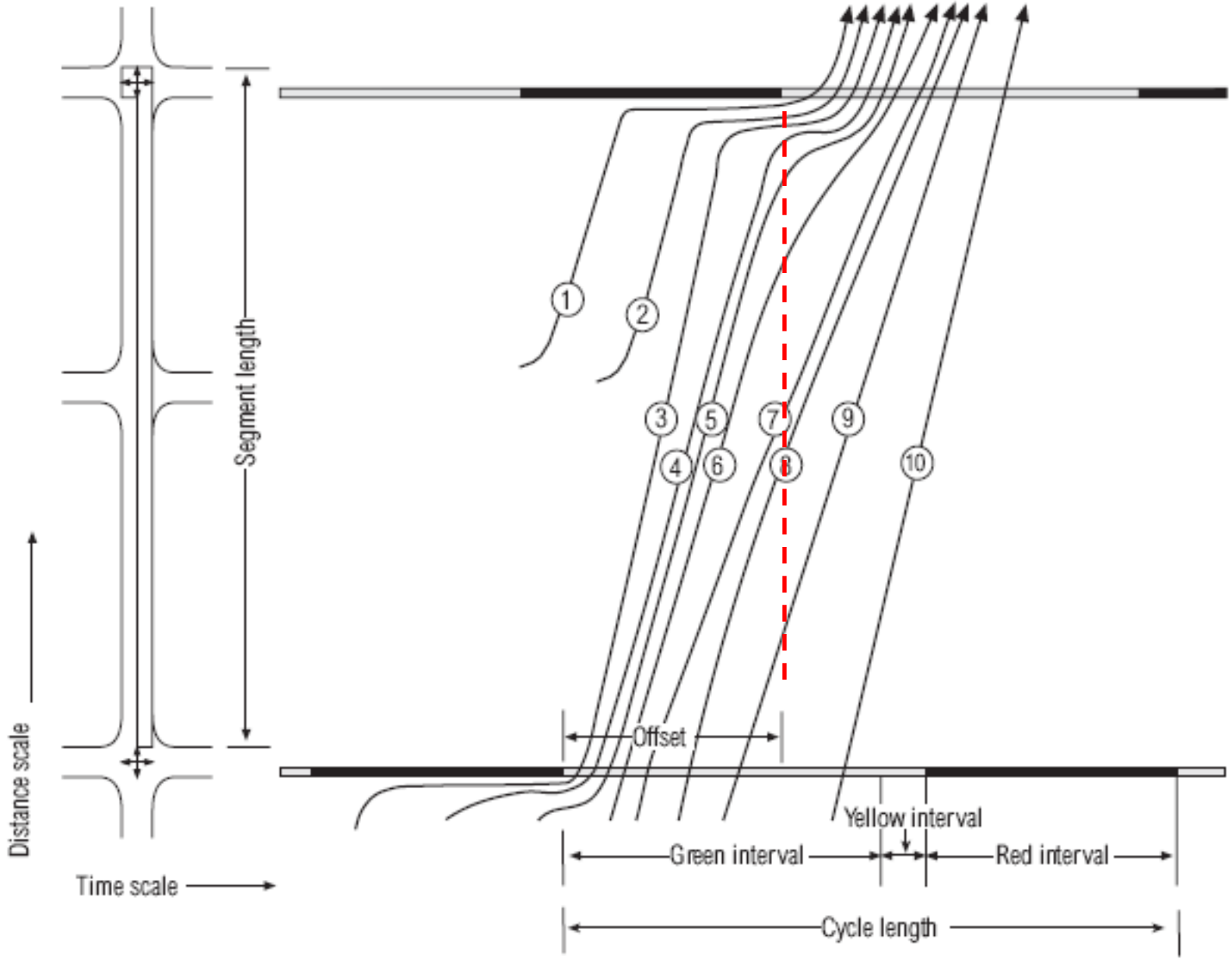
Phase 4

การจัดจังหวะสัญญาณไฟจราจร

			
Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
G = 5 Y = 3 AR = 1	G = 15 Y = 3 AR = 1	G = 5 Y = 3 AR = 1	G = 22 Y = 3 AR = 1
Cycle Length = 63.00			

ความล่าช้าบริเวณทางแยก (DELAY)

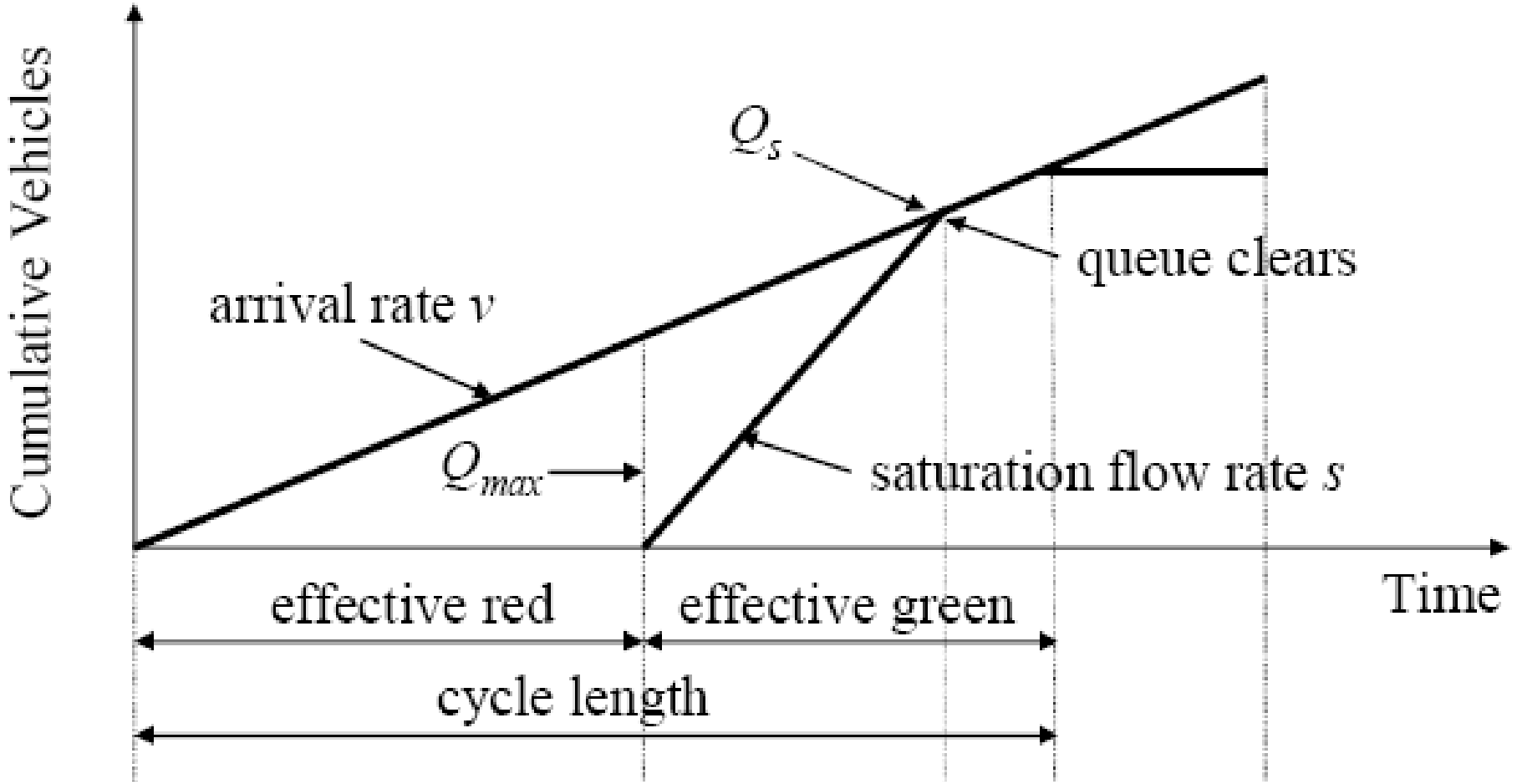



Segment length
Distance scale
Time scale
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Offset
Yellow interval
Green interval
Red interval
Cycle length

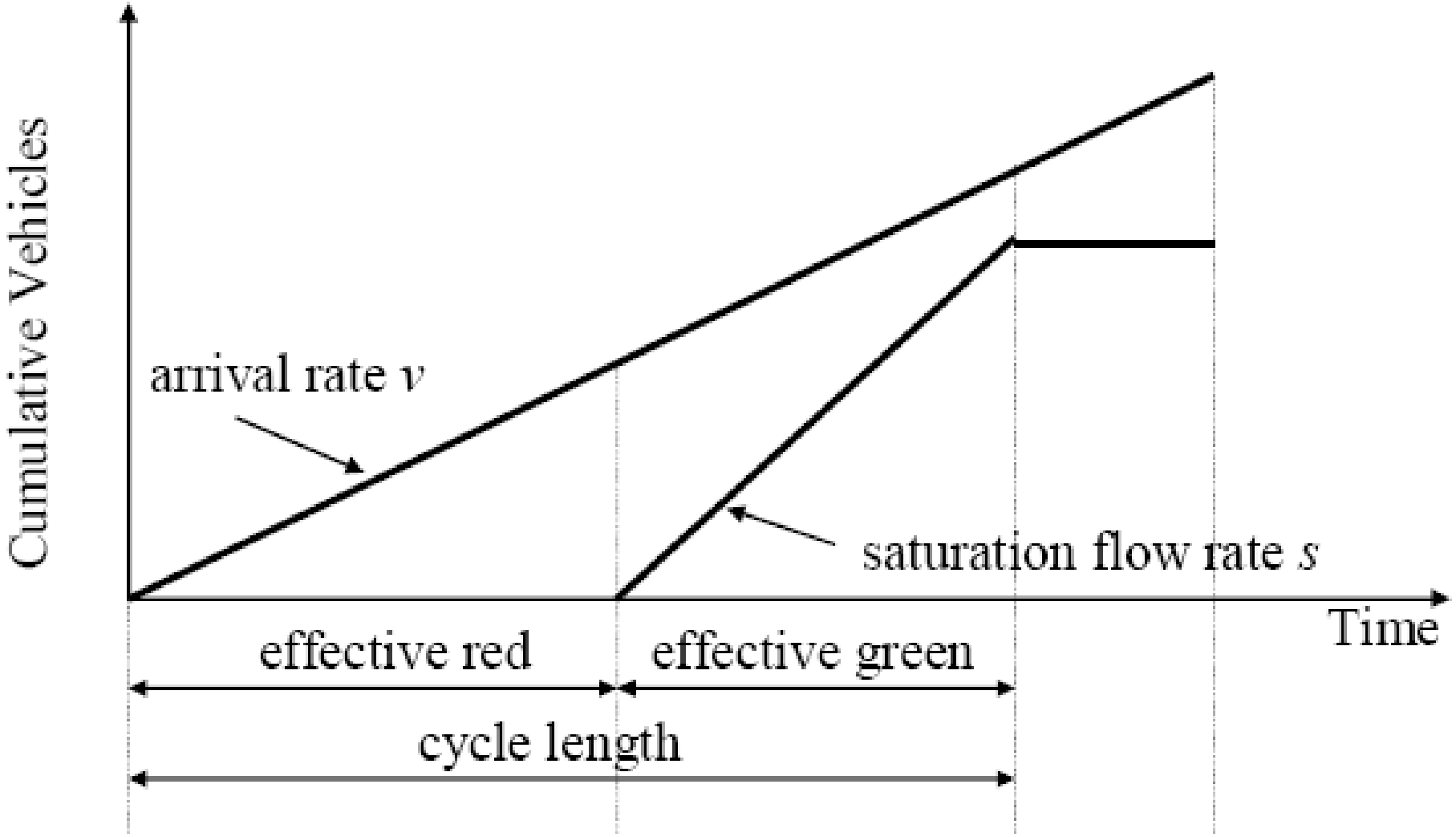
สภาพการจราจร

- สภาพต่ำกว่าระดับอิ่มตัว (Undersaturation)
  - ปล่อยรถไปได้หมดในแต่ละรอบ
  - จราจรไม่ติดขัด
- สภาพสูงกว่าระดับอิ่มตัว (Oversaturation)
  - ปล่อยรถไปได้ไม่หมดในแต่ละรอบ
  - จราจรติดขัด
  - แถวคอยยาว

สภาพต่ำกว่าระดับอิ่มตัว (Undersaturation)



สภาพสูงกว่าระดับอิ่มตัว (Oversaturation)



แบบตั้งเวลาควบคุมล่วงหน้า

(Pre-timed Signal Control)

การจัดจังหวะสัญญาณไฟจราจร

หลักการทำงานของสัญญาณไฟจราจร 2 เฟส (ตัวอย่าง)

คำศัพท์ที่ควรรู้

Green Interval
ช่วงไฟเขียว
รถสามารถเคลื่อนที่ได้

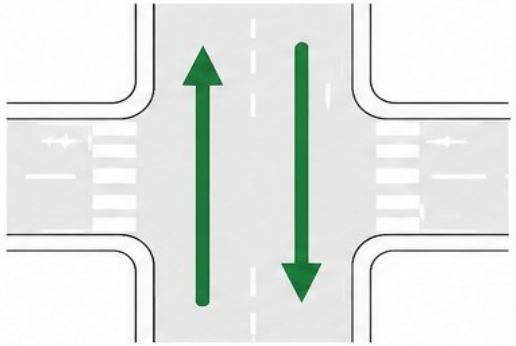
Change Interval (Yellow)
ช่วงไฟเหลือง
เตือนว่ากำลังจะเปลี่ยนเป็นไฟแดง

All-Red Interval
ช่วงไฟแดงทั้งหมด
ให้รถที่ยังอยู่ในทางแยกออกจากพื้นที่ขัดแย้ง

Cycle Length
เวลารอบสัญญาณ
เริ่มจากไฟเขียวของเฟสเดิม จนกลับมาเป็นไฟเขียวอีกครั้ง

Phase A

ทิศทางเหนือ - ใต้ (ตรง)



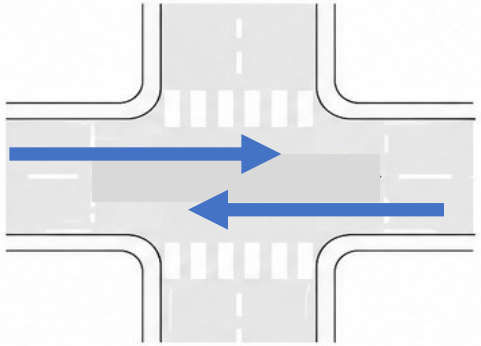
สลับกันไปเป็นรอบ

34 s	4 s	2 s
ไฟเขียว (Green)	ไฟเหลือง (Change Interval)	ไฟแดงทั้งหมด (All-Red Interval)

รวมเวลาเฟส A = 40 วินาที

Phase B

ทิศทางตะวันออก - ตะวันตก (ตรง)



36 s	4 s	2 s
ไฟเขียว (Green)	ไฟเหลือง (Change Interval)	ไฟแดงทั้งหมด (All-Red Interval)

รวมเวลาเฟส B = 42 วินาที

Cycle Length (เวลารอบสัญญาณ) = 40 วินาที (เฟส A) + 42 วินาที (เฟส B) = 82 วินาที

ครบ 1 รอบ แล้วเริ่มเฟส A ใหม่

ช่วงไฟเหลือง (Change Interval) และ ช่วงไฟแดงทั้งหมด (All-Red Interval)
มีความสำคัญต่อความปลอดภัย ทำให้รถที่ยังอยู่ในทางแยกออกจากพื้นที่ขัดแย้งก่อนเปิดไฟให้ทิศทางอื่น

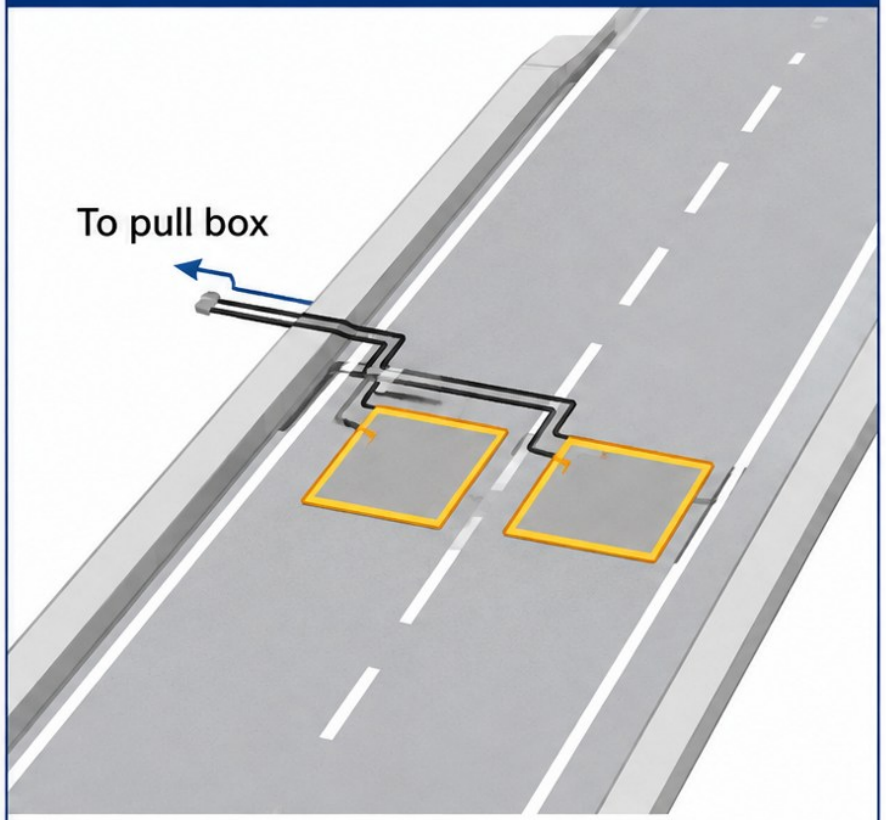
แบบตอบสนองต่อปริมาณจราจรบางส่วน (Semi-actuated Signal Control)

และ

แบบตอบสนองต่อปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ (Fully-actuated Signal Control)

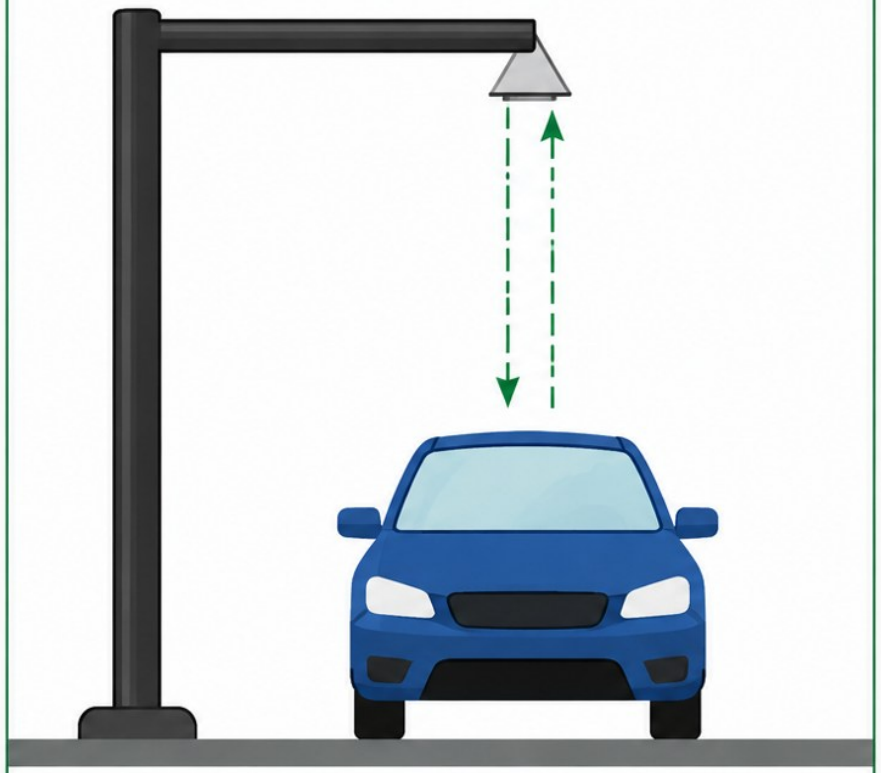
แบบตอบสนองต่อปริมาณจราจร

Loop Detector Installation



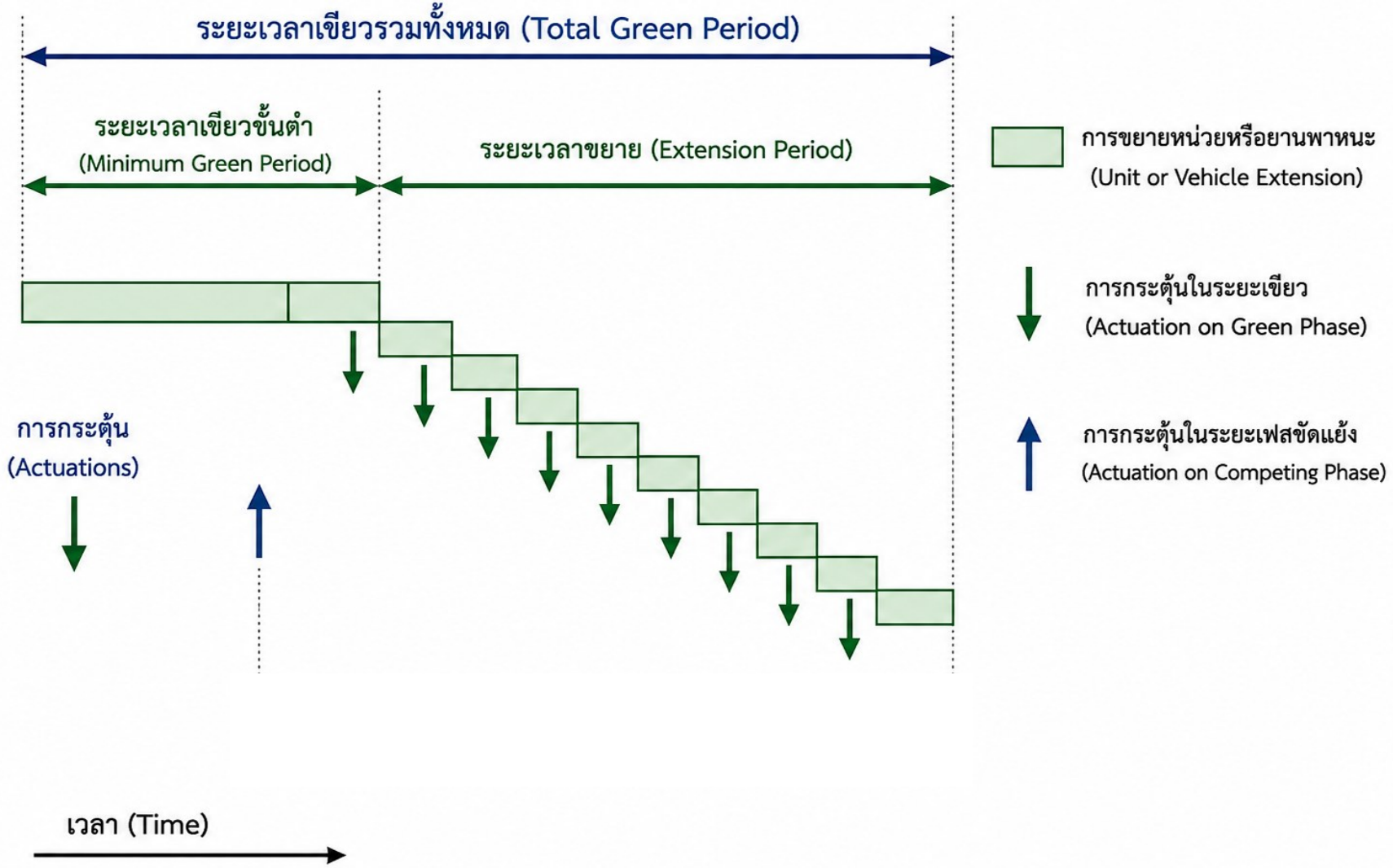
ติดตั้งขดลวดตรวจจับฝังอยู่ใต้ผิวจราจร
เชื่อมต่อสายไฟไปยังตู้ควบคุม (Pull Box)

Ultrasonic Detector Operation



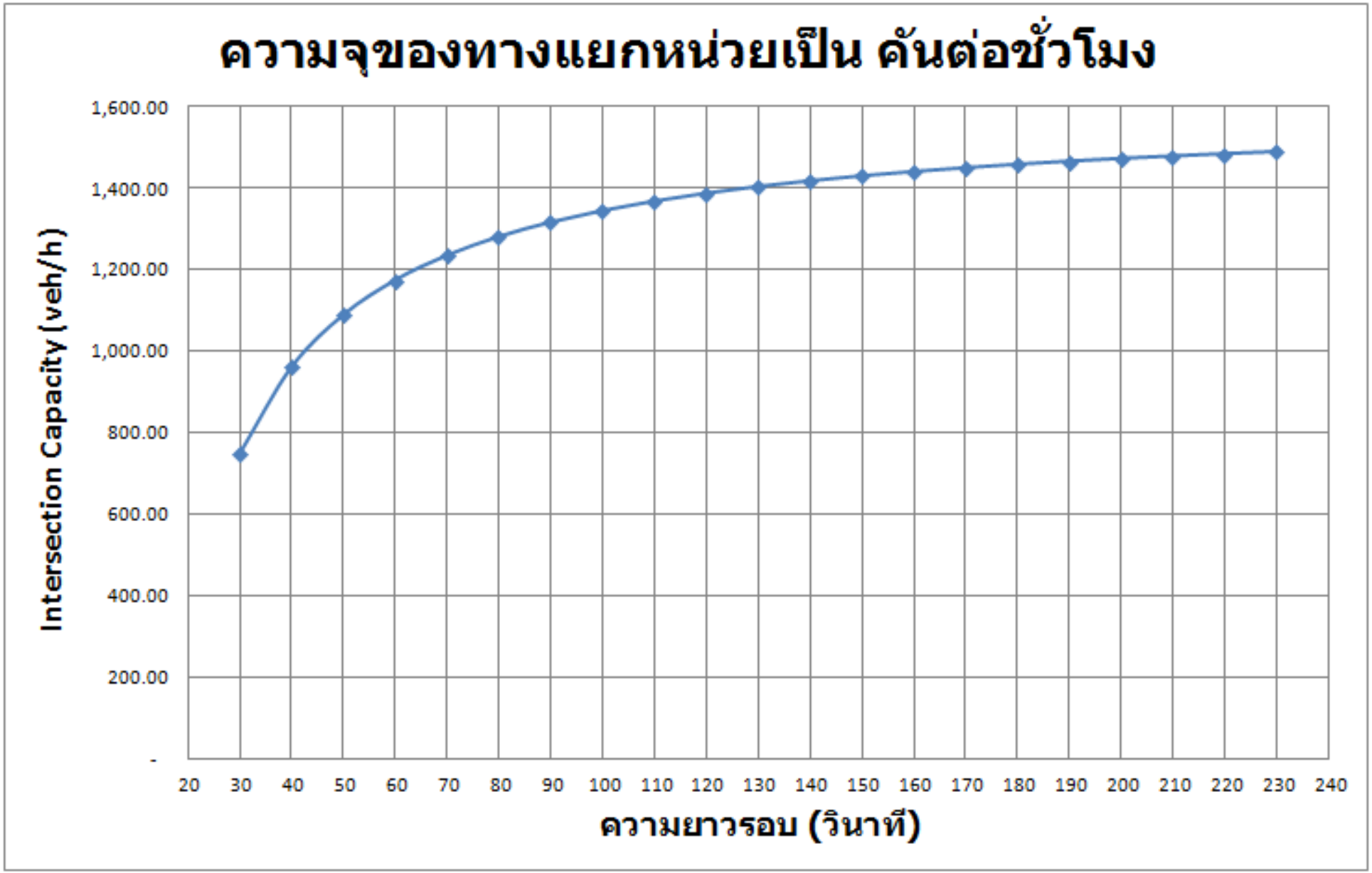
ตรวจจับยานพาหนะด้วยคลื่นอัลตราโซนิก
โดยส่งคลื่นลงไปและรับคลื่นสะท้อนกลับ

แบบตอบสนองต่อปริมาณจราจร



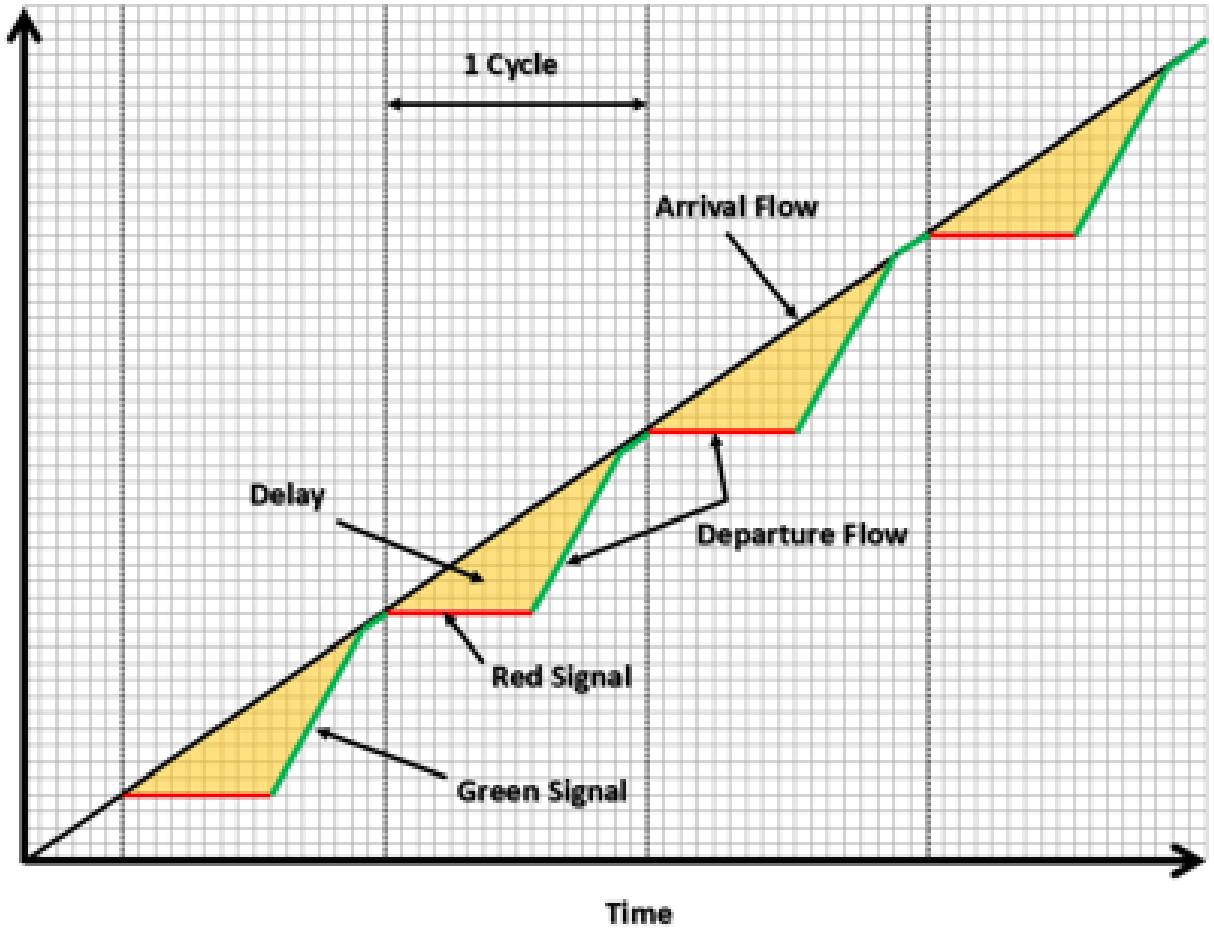
ค่ารอบสัญญาณไฟจราจร (Cycle Length) สั้นหรือยาว ?

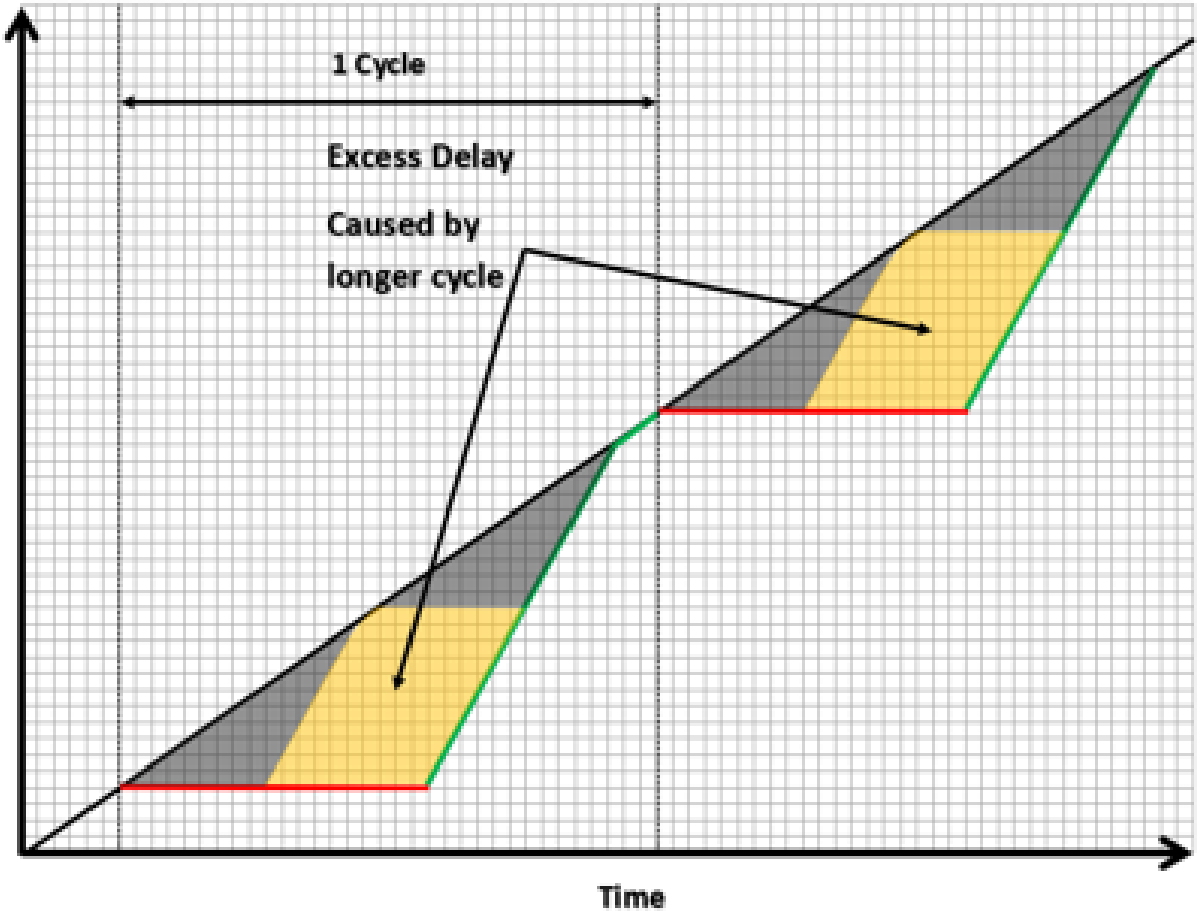
- ค่ารอบสัญญาณไฟจราจร สั้นและยาวมีผลอย่างไร?
- ตั้งค่ารอบสัญญาณไฟจราจรยาวๆปล่อยรถได้มากขึ้นมากๆจริงหรือ?
- ทำไมชาวต่างประเทศจึงชอบถามว่าทำไมค่ารอบสัญญาณไฟจราจรของบ้านเรายาวมาก?
- ลองพิจารณาครับ!


ความจุของทางแยกหน่วยเป็น คันต่อชั่วโมง
Intersection Capacity (veh/h)
1,600.00
1,400.00
1,200.00
1,000.00
800.00
600.00
400.00
200.00
-
20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240
ความยาวรอบ (วินาที)

ความสัมพันธ์กับความล่าช้า

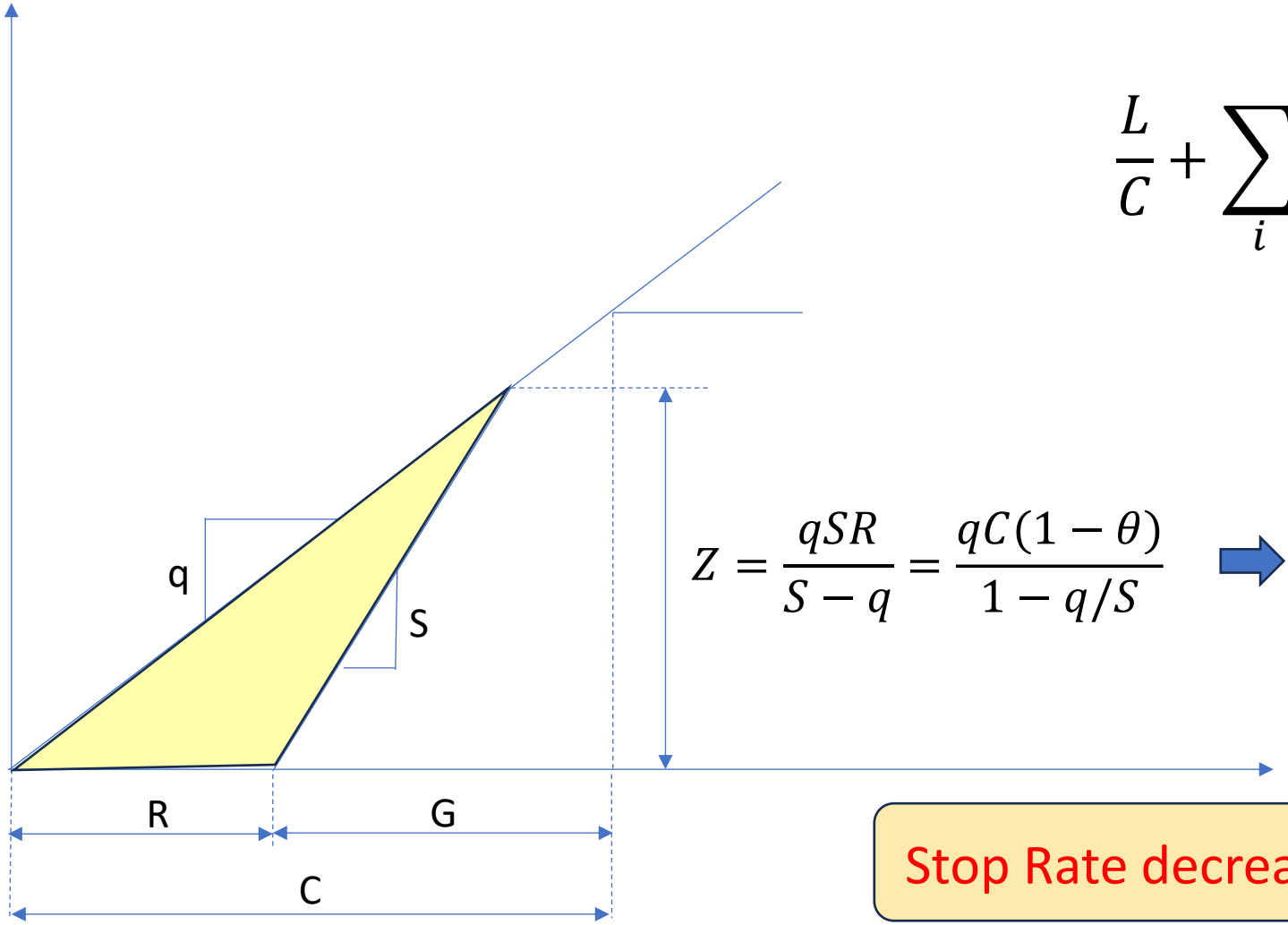
Effects of Long Cycle Length on Delay





Delay increases as cycle length increases!

Effects of Cycle Length on Stop Rate



$$\frac{L}{C} + \sum_i \theta_i = 1 \quad \Rightarrow \quad \frac{d\theta_i}{dC} = \frac{L}{C^2}$$

$$Z = \frac{qSR}{S-q} = \frac{qC(1-\theta)}{1-q/S} \quad \Rightarrow \quad \frac{d(\frac{Z}{C})}{dC} = -\left(\frac{q}{1-q/S}\right)\left(\frac{L}{C^2}\right)$$

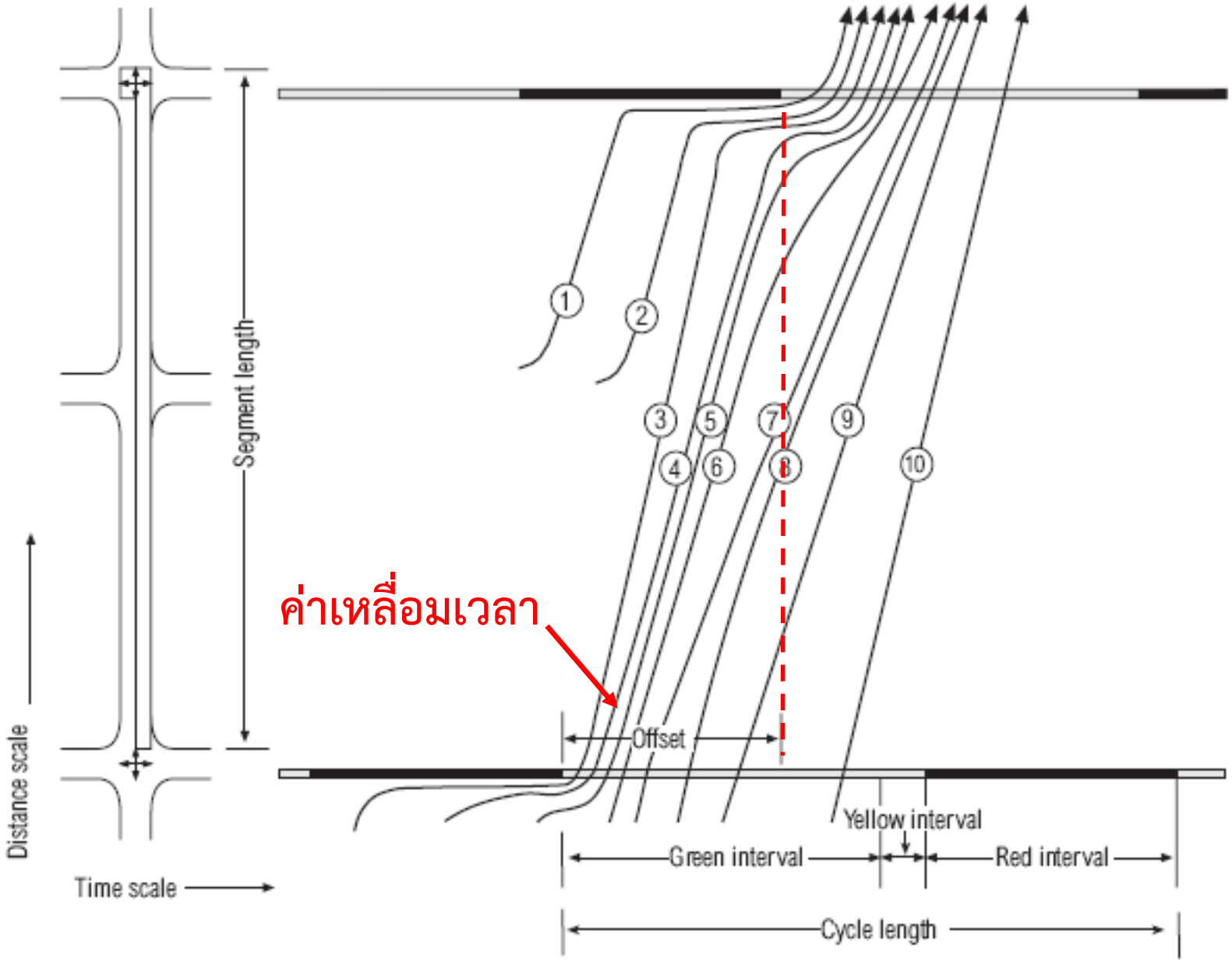
Stop Rate decreases as cycle length increases!

การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบพื้นที่

- วิธีการส่วนใหญ่ → สภาพต่ำกว่าระดับอิ่มตัว (Undersaturation) →ปริมาณจราจรสูงกว่าความจุของโครงข่าย)
- วัตถุประสงค์ → เพื่อทำให้ความล่าช้าของโครงข่ายต่ำที่สุด (Min delay)

การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบพื้นที่

- ในกรณีที่สภาพสูงกว่าระดับอิ่มตัว (Oversaturation) เป็นอย่างไร?
  - สภาพสูงกว่าระดับอิ่มตัว → ปริมาณจราจรสูงกว่าความจุของโครงข่ายจราจร
  - แถวคอยยาว และ การล้นข้ามแยก (Spillovers)
  - Min delay (วัตถุประสงค์) → ยังคงมีประสิทธิภาพหรือไม่ ?
  - การศึกษาด้านนี้น้อยมาก


Segment length
Distance scale
Time scale
ค่าเหลื่อมเวลา
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Offset
Yellow interval
Green interval
Red interval
Cycle length

ค่าเหลื่อมเวลา (offsets)

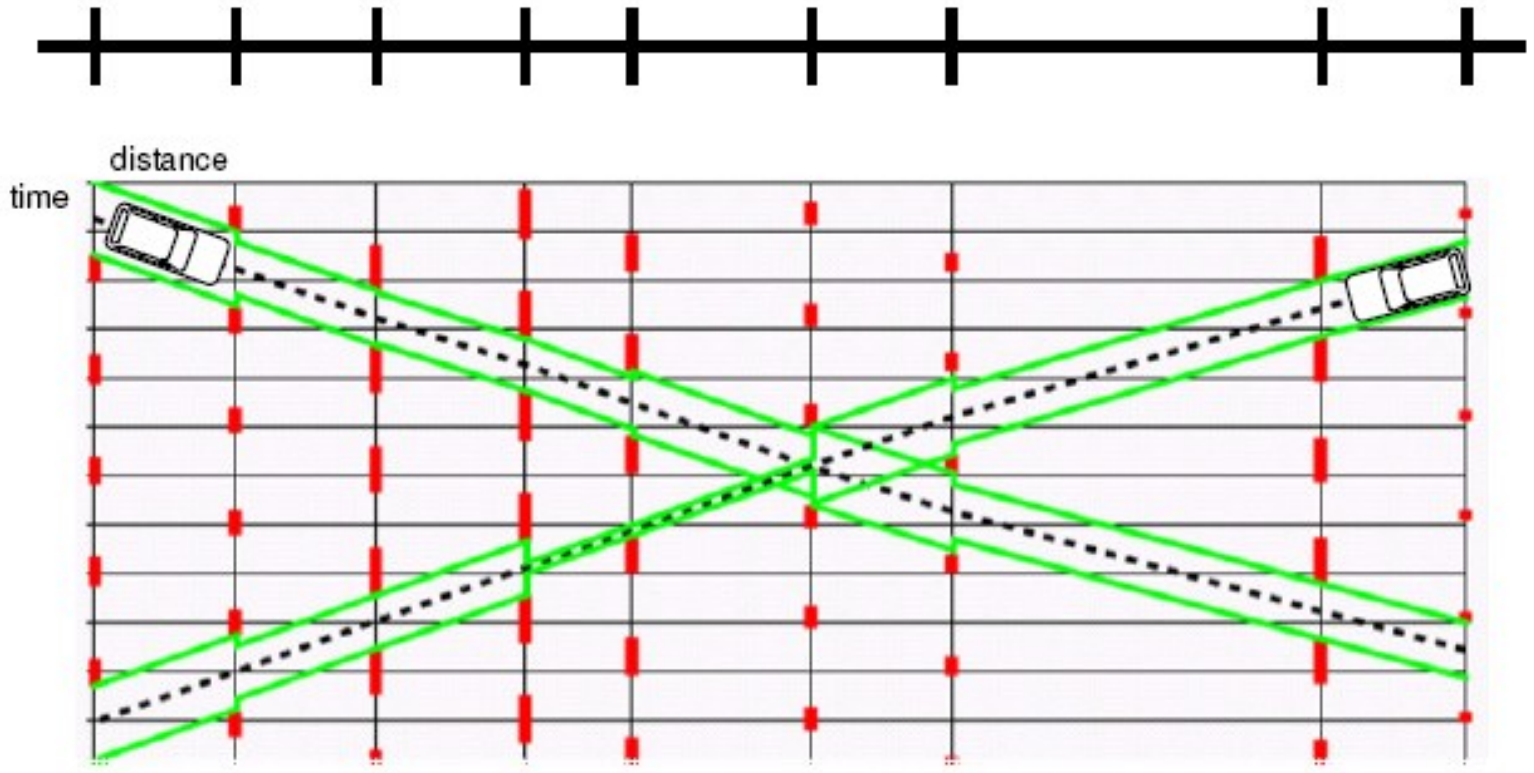
- ถ้าเป็นการเดินรถทิศทางเดียว (One-way Traffic)
  - ค่าเหลื่อมเวลา คือ ระยะเวลาในการเดินทางจากแยกถึงแยก
  - ถ้ามีแถวคอยอยู่ก่อนให้ลบด้วยระยะเวลาในการระบายแถวคอย
- ถ้าเป็นการเดินรถสองทิศทาง (Two-way Traffic)
  - ถ้ามีทิศทางหนึ่งเป็นทิศทางหลัก (เช่น ปริมาณจราจรมากกว่า) สามารถใช้วิธีเดียวกับการเดินรถทิศทางเดียว
  - ถ้าปริมารจราจรใกล้เคียงกันทั้งสองทิศทางควรปรึกษาวิศวกรจราจร

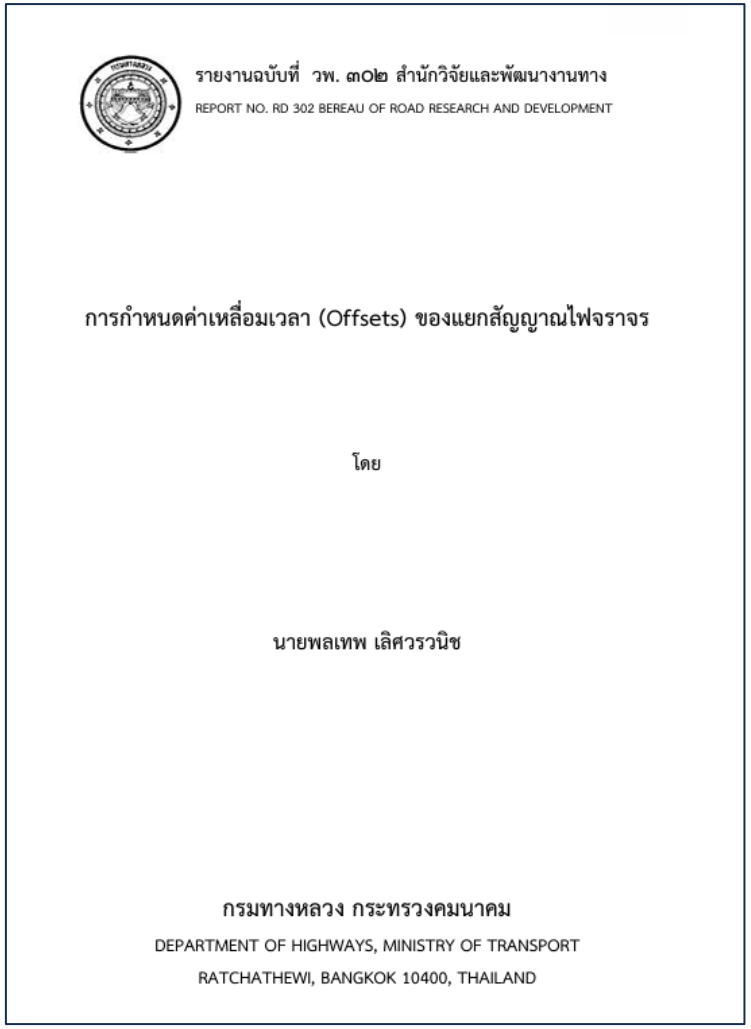
การออกแบบสัญญาณไฟจราจรแบบพื้นที่

- Progression-based methods
  - MAXBAND
  - PASSER
- Disutility-based methods
  - TRANSYT
  - Combination

Bandwidth

- MAXIMUM BANDWIDTH





รายงานฉบับที่ วพ. ๓๐๒ สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง

REPORT NO. RD 302 BEREAU OF ROAD RESEARCH AND DEVELOPMENT

การกำหนดค่าเหลื่อมเวลา (Offsets) ของแยกสัญญาณไฟจราจร

โดย

นายพลเทพ เลิศวรวนิช

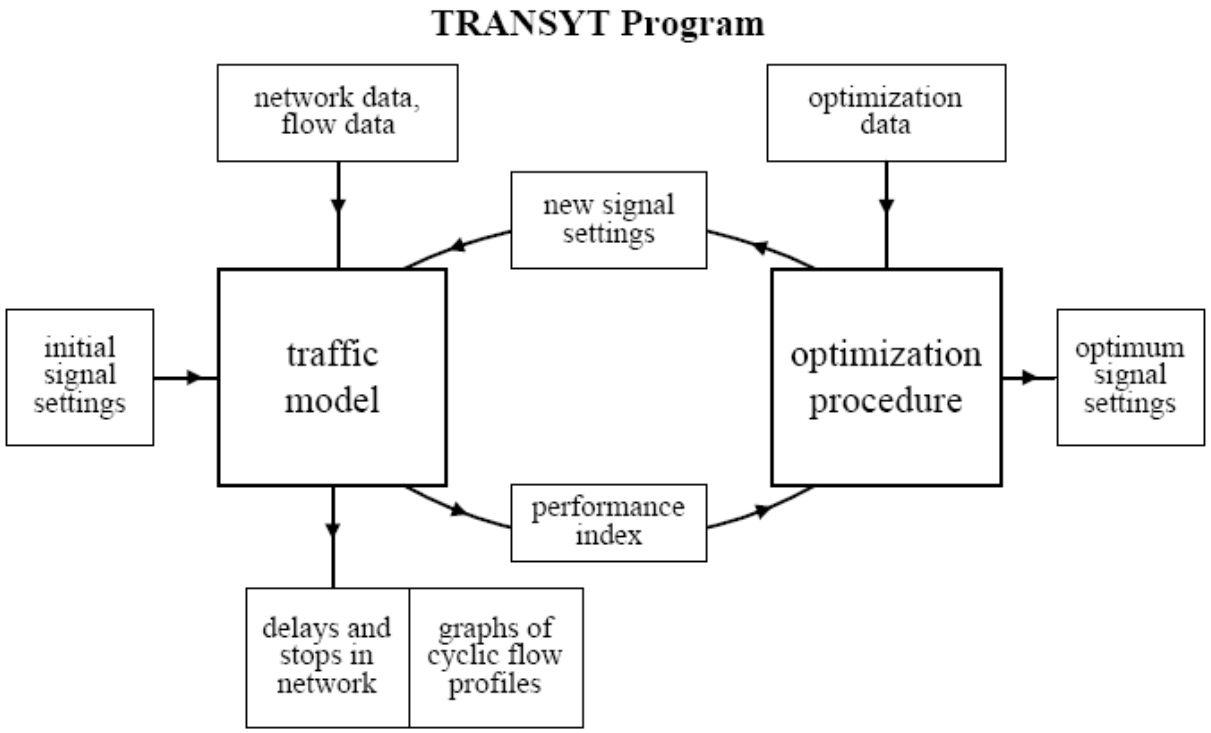
กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

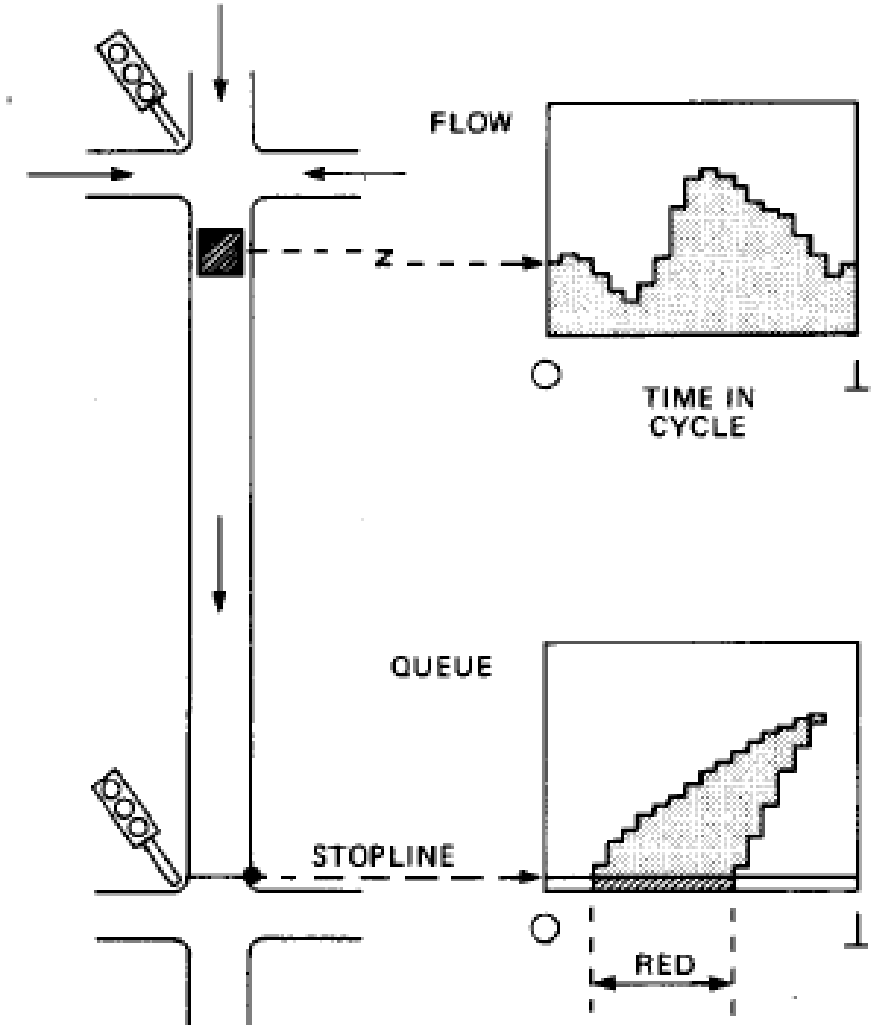
DEPARTMENT OF HIGHWAYS, MINISTRY OF TRANSPORT

RATCHATHEWI, BANGKOK 10400, THAILAND

TRANSYT

- Platoon dispersion
- แถวคอยแนวตั้ง (Vertical queue)





ยุคของระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบพื้นที่

- ยุคที่ 1 (Generation 1): Pre-timed system
  - ไม่มีการติดตั้งเครื่องนับรถยนต์
  - ใช้ข้อมูลเก่าเพื่อออกแบบจังหวะสัญญาณไฟจราจร
- ยุคที่ 2 (Generation 2): Traffic Responsive Control System
  - มีการติดตั้งเครื่องนับรถยนต์
  - ใช้ข้อมูลจากเครื่องนับรถยนต์เพื่อออกแบบจังหวะสัญญาณไฟจราจร
  - SCOOT และ SCATS เป็นต้น

ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบพื้นที่

01 SCOOT

ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร
แบบพื้นที่



พัฒนาในประเทศ
สหราชอาณาจักร
(United Kingdom)

- ระบบควบคุมแบบปรับตามสภาพจราจร (Adaptive Signal Control)
- ปรับ Split / Cycle / Offset แบบอัตโนมัติ
- เหมาะสำหรับโครงข่ายสัญญาณไฟจราจรขนาดใหญ่

02 SCATS

ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร
แบบพื้นที่



พัฒนาในประเทศ
ออสเตรเลีย
(Australia)

- ระบบควบคุมแบบปรับตามสภาพจราจร (Adaptive Signal Control)
- ใช้เทคโนโลยีสื่อสารแบบศูนย์กลาง (Centralized System)
- เหมาะสำหรับโครงข่ายสัญญาณไฟจราจรขนาดใหญ่และซับซ้อน

03 อื่น ๆ

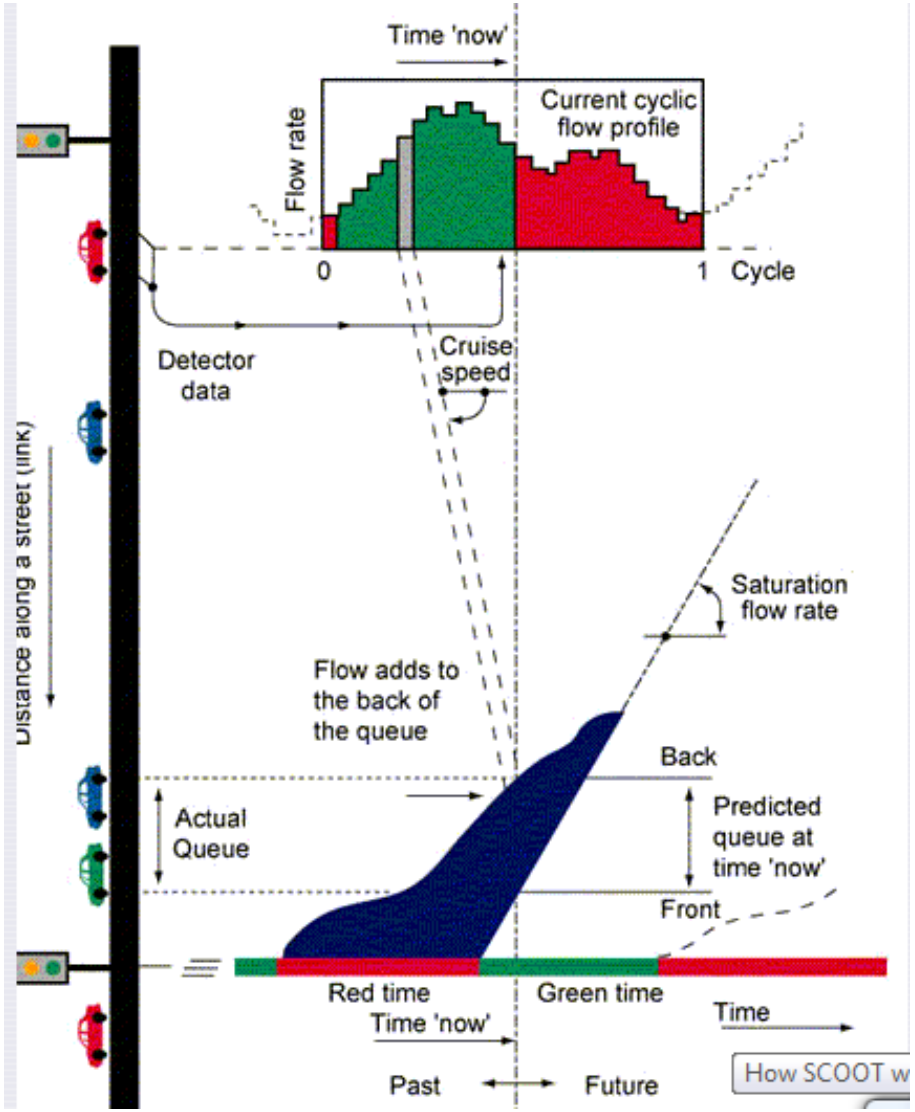
ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร
แบบพื้นที่อื่น ๆ

- InSync
- RHODES
- OPAC
- AI-Based Control
- Transyt
- และอื่น ๆ

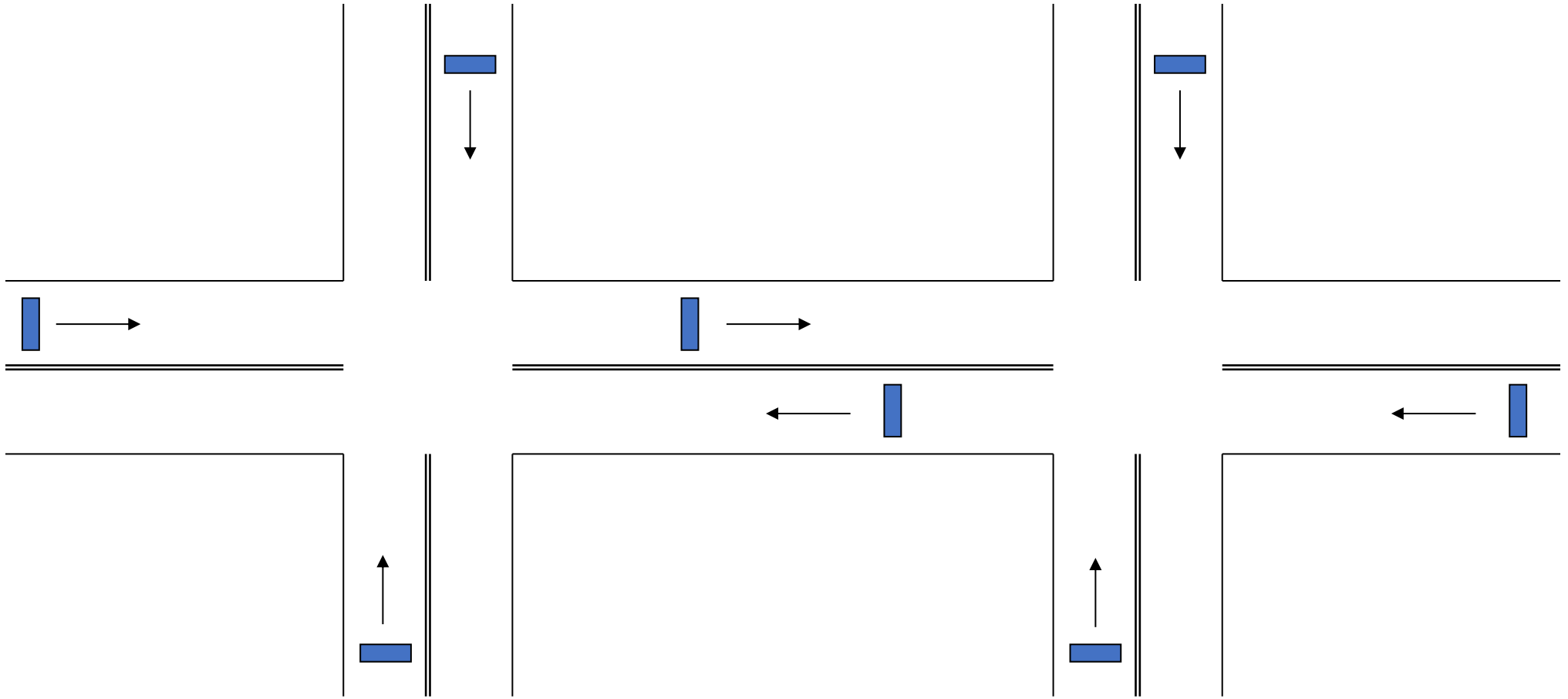
- มีหลากหลายระบบให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมของพื้นที่
- พัฒนาอย่างต่อเนื่องด้วยเทคโนโลยีและข้อมูลจราจรสมัยใหม่

SCOOT (Split, Cycle, and Offset Optimization Technique)

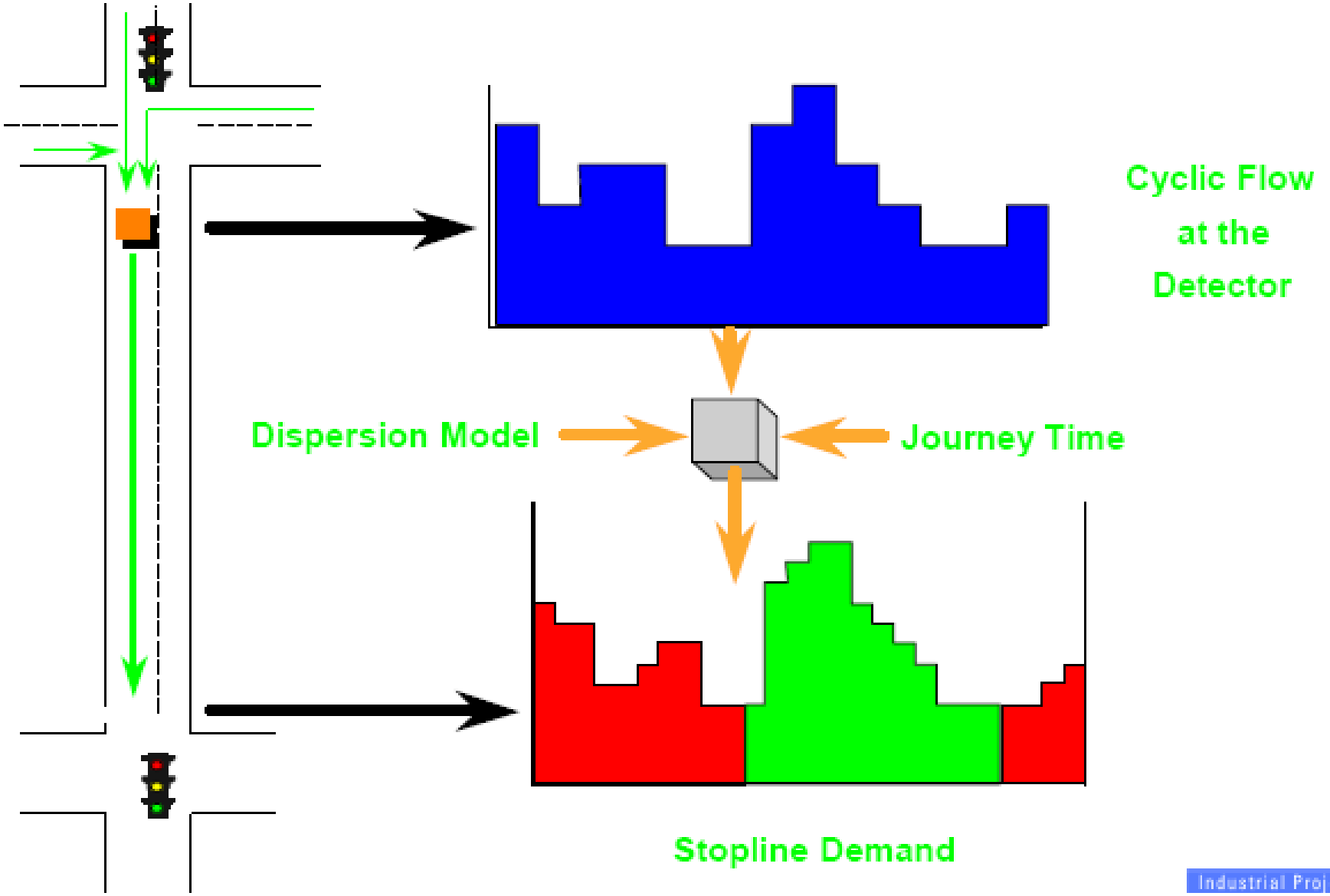
- ใช้หลักการของ TRANSYT
  - Cyclic Flow Profile
  - Platoon dispersion
  - แถวคอยแนวตั้ง



การติดตั้งเครื่องนับรถ



SCOOT



Industrial Projects

SCOOT

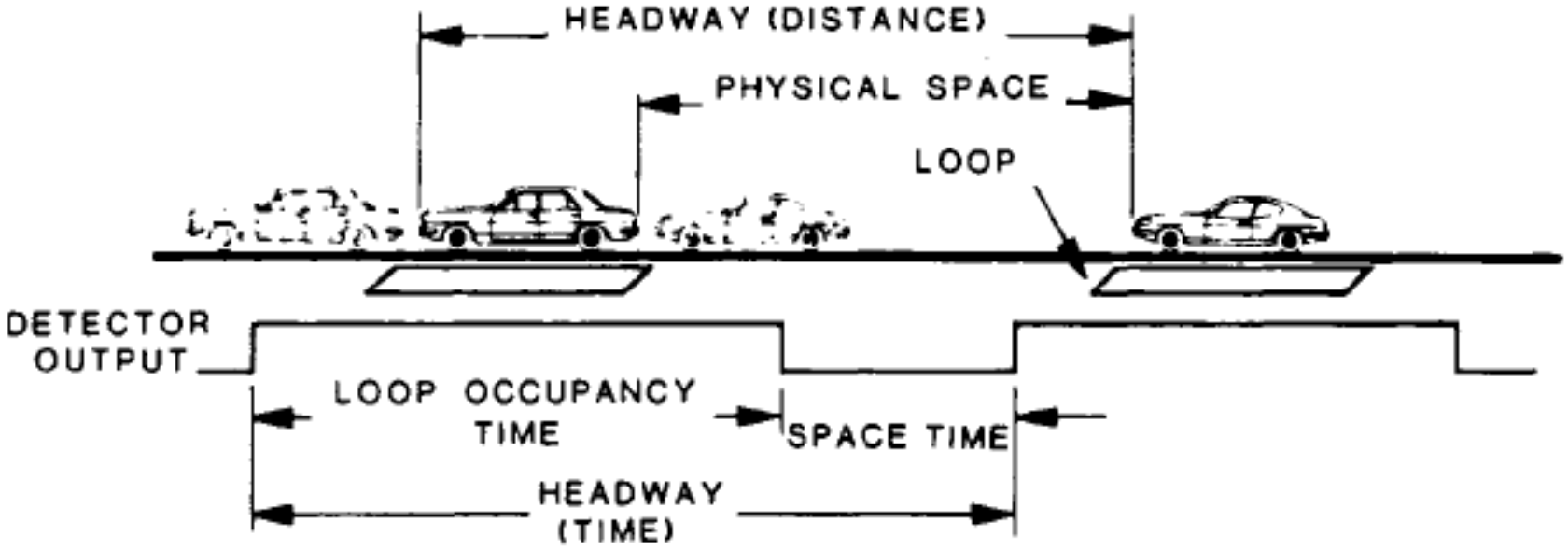
- การคำนวณแบ่งเป็น 3 ส่วน
  - Split optimizer
  - Offset optimizer
  - Cycle length optimizer

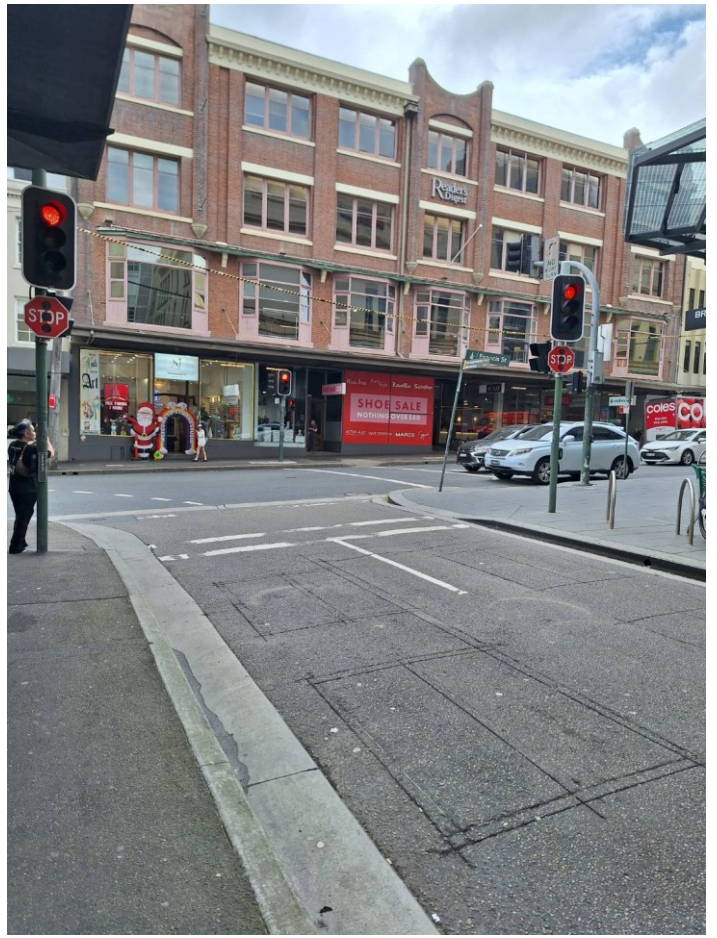
SCOOT

Optimizer	ความถี่ในการคำนวณ	ค่าปรับเปลี่ยน
Split	ทุกเฟส	-4, 0, +4 วินาที
Offset	ทุกรอบ	-4, 0, +4 วินาที
Cycle	ทุก 5 นาที	-4, 0, +4 วินาที

SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System)

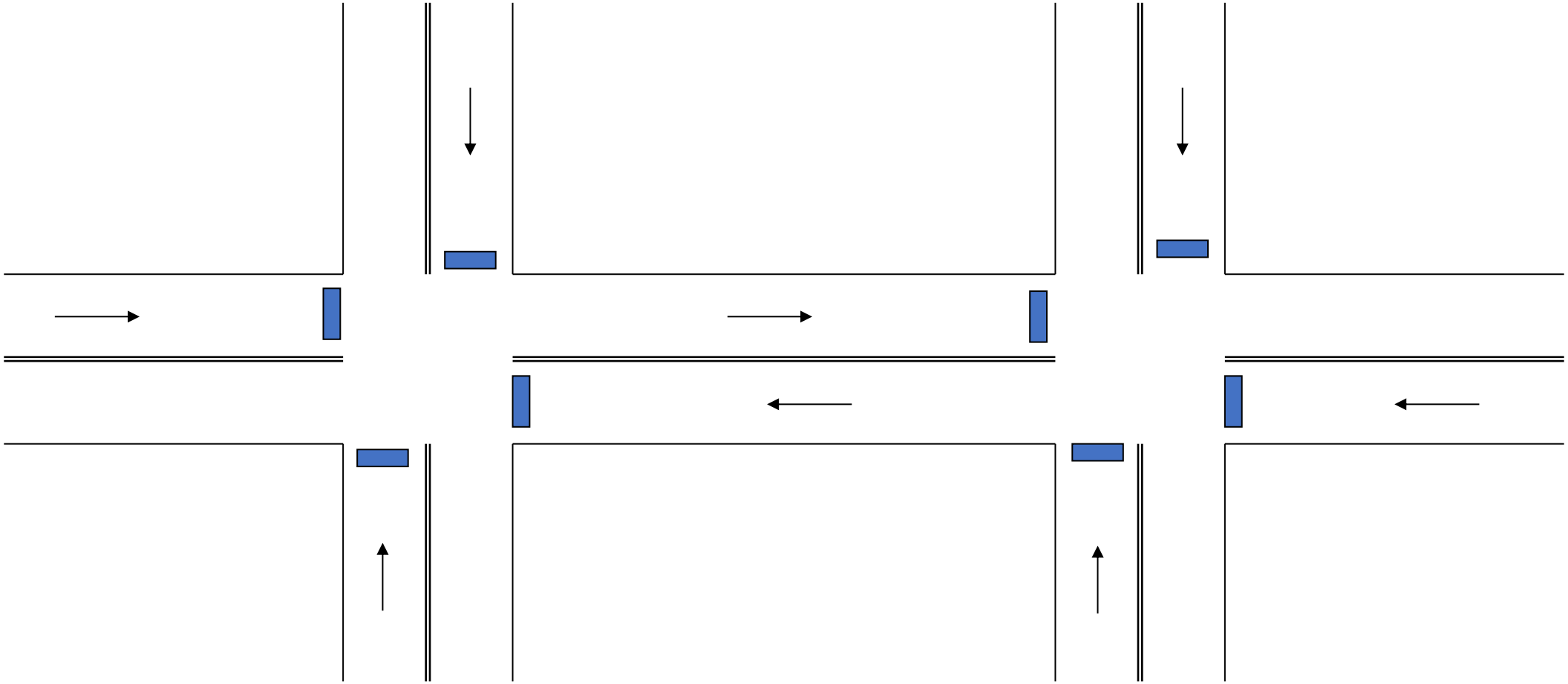
- วัดระดับความอิ่มตัวจากเครื่องนับรถ





ที่มา: Sims, A. G., and K. W. Dobinson. 1980. The Sydney coordinated adaptive traffic (SCAT) system philosophy and benefits. IEEE Trans. Veh. Technol. 29 (2):130–37. doi:10.1109/T-VT.1980.23833.

การติดตั้งเครื่องนับรถ



SCATS

- นำจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่คำนวณไว้ก่อน (Library) มาใช้
- วัดค่าระดับความอิ่มตัว (Degree of Saturation)

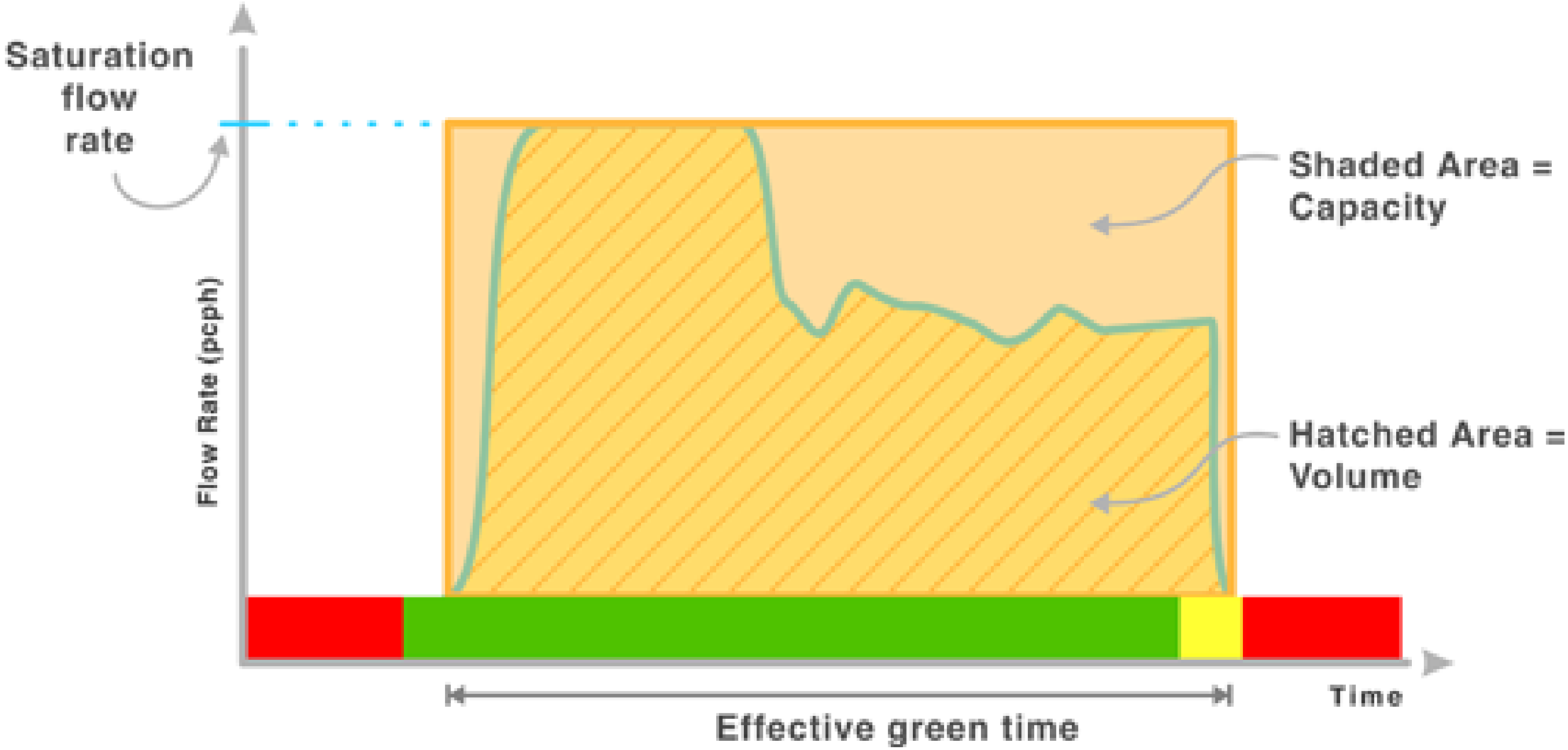
$$DS = [green-(unused\ green)]/green$$

- ใช้หลักการ Equalizing DS เพื่อปรับเปลี่ยนค่า Split และ Cycle Time ในรอบถัดไป
- ค่า offset เลือกจาก Library ที่คำนวณไว้ก่อนหน้า

SCATS

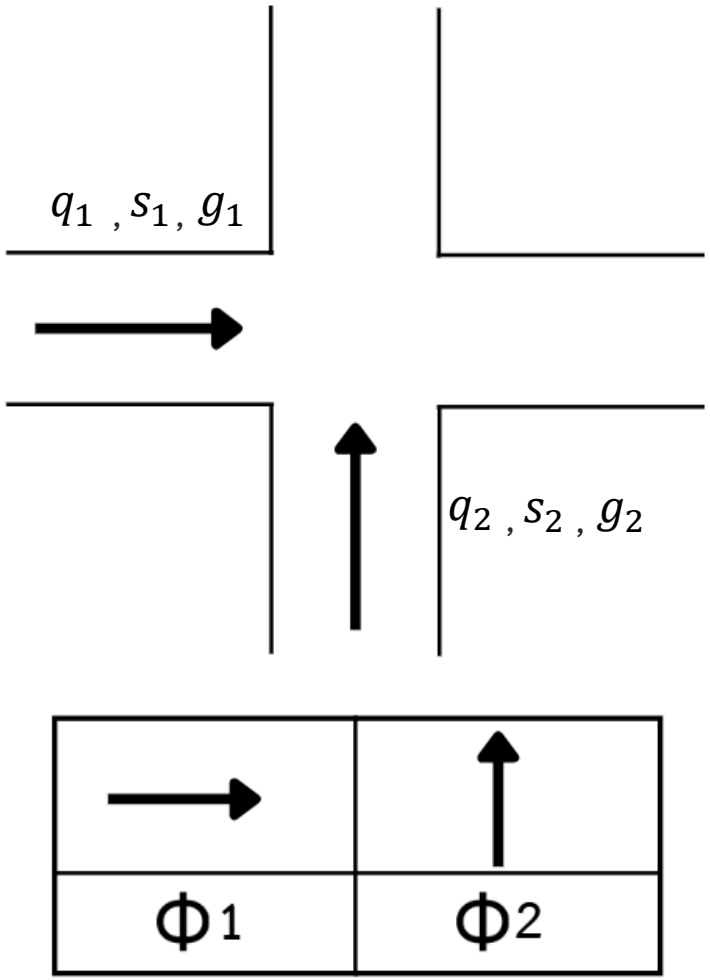
พารามิเตอร์	ความถี่ในการคำนวณ	ค่าปรับเปลี่ยน
Split	ทุกรอบ	-6, 0, +6 วินาที
Offset	-	เลือกจาก Library
Cycle	ทุกรอบ	-6, 0, +6 วินาที

การคำนวณค่าสัญญาณไฟจราจรเบื้องต้น



ที่มา: Traffic Signal Timing Manual: https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08024/chapter3.htm

การคำนวณค่าสัญญาณไฟจราจรเบื้องต้น



Phase Degree of Saturation

$$\left(\frac{V}{C}\right)_{\emptyset 1} = \frac{q_1 C}{s_1 g_1} \leq 1$$

$$\left(\frac{V}{C}\right)_{\emptyset 2} = \frac{q_2 C}{s_2 g_2} \leq 1$$

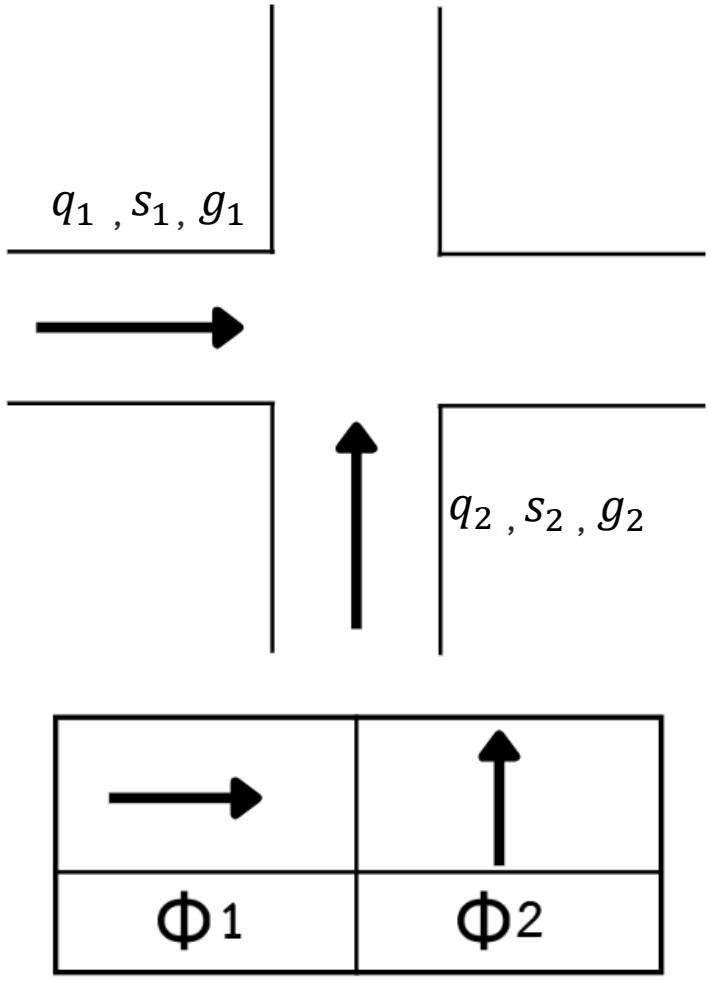
$$g_1 + g_2 + L \leq C \quad \text{____(1)}$$

สมการ (1) หารด้วย C ; $\frac{g_1}{C} + \frac{g_2}{C} + \frac{L}{C} \leq 1$ ____(2)

$$\frac{q_1}{s_1} + \frac{q_2}{s_2} + \frac{L}{C} \leq 1 \quad \text{____(3)}$$

จากสมการ (3) ; $C_{min} \geq \frac{L}{1-\left(\frac{q_1}{s1}+\frac{q_2}{s_2}\right)}$

การคำนวณค่าสัญญาณไฟจราจรเบื้องต้น



Intersection Degree of Saturation

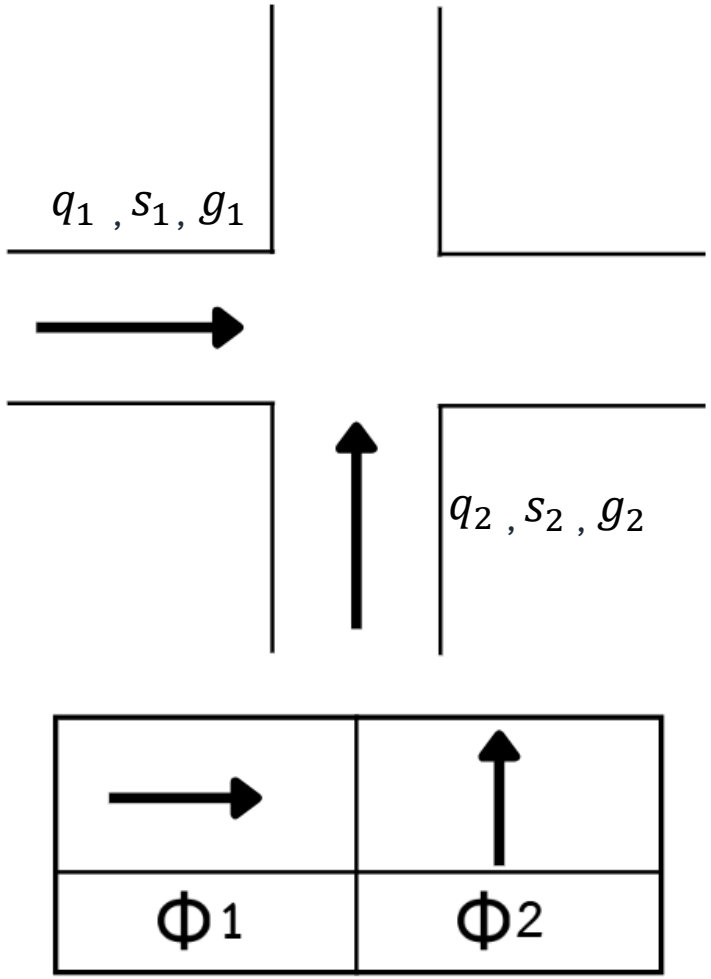
$$\left(\frac{V}{C}\right)_{Int} = \omega_1\left(\frac{V}{C}\right)_{\phi 1} + \omega_2\left(\frac{V}{C}\right)_{\phi 2}$$

$$= \omega_1\left(\frac{q_1 C}{s_1 g_1}\right) + \omega_2\left(\frac{q_2 C}{s_2 g_2}\right)$$

$$= \frac{g_1}{C-L}\left(\frac{q_1 C}{s_1 g_1}\right) + \frac{g_2}{C-L}\left(\frac{q_2 C}{s_2 g_2}\right)$$

$$\left(\frac{V}{C}\right)_{Int} = \frac{C}{C-L}\left[\left(\frac{q_1}{s_1}\right) + \left(\frac{q_2}{s_2}\right)\right]$$

การคำนวณค่าสัญญาณไฟจราจรเบื้องต้น



$$\left(\frac{V}{C}\right)_{Int} = \frac{C}{C-L}\left[\left(\frac{q_1}{s_1}\right) + \left(\frac{q_2}{s_2}\right)\right] = DS_{Int}$$

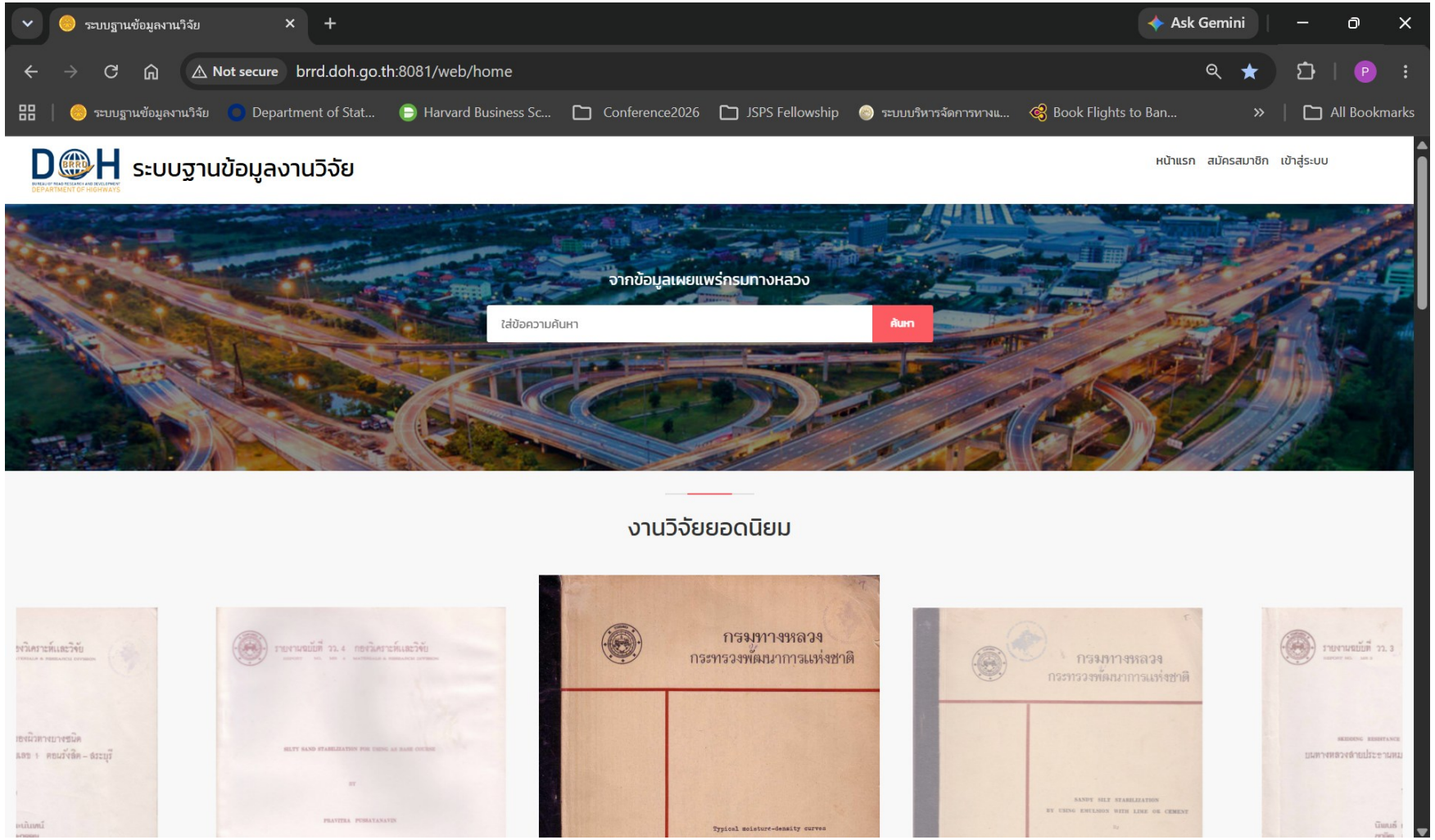
$$C_{DS_{Int}} = \frac{L}{1 - \frac{1}{DS_{Int}}\left[\left(\frac{q_1}{s_1}\right) + \left(\frac{q_2}{s_2}\right)\right]}$$

หลักการ Equalizing Degree of Saturation

$$\left(\frac{V}{C}\right)_{\emptyset 1} = \frac{q_1 C}{S_1 g_1} = \left(\frac{V}{C}\right)_{Int} = \frac{C}{C-L}\left[\left(\frac{q_1}{s_1}\right) + \left(\frac{q_2}{s_2}\right)\right]$$

$$g_1 = (C-L) \cdot \frac{\frac{q_1}{S_1}}{\left[\frac{q_1}{S_1} + \frac{q_2}{S_s}\right]}$$

BUREAU OF ROAD RESEARCH AND DEVELOPMENT
DEPARTMENT OF HIGHWAYS



ขอบคุณครับ