บทที่ 3

หลักการออกแบบระบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสาน

3.1 หลักการพื้นฐานของระบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสาน (Co-Ordinated Signals)

ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสาน คือการควบคุมสัญญาณไฟจราจรบนทางแยกในบริเวณเดียวกัน ตั้งแต่สองทางแยกขึ้นไปทำงานสอดคล้องประสานสัมพันธ์กัน โดยเป็นระบบสัญญาณไฟจราจรแบบตั้งเวลาไว้ก่อน หรือแบบตั้งเวลาไว้แน่นอน (Pre-Timed or Fixed-Time Signal) ซึ่งทุกสัญญาณไฟจราจรบนทางแยกในระบบจะต้องใช้รอบเวลาสัญญาณไฟ (Cycle Time) เท่ากัน แต่ถ้าปริมาณจราจรไม่สูงมากก็อาจจะเปลี่ยนแปลงกำหนดรอบเวลาเป็นสองเท่า หรือเป็นครึ่งหนึ่งของรอบเวลาสัญญาณไฟของระบบได้ ถ้าเป็นกรณีที่มีทางแยกในระบบโครงข่ายควบคุมด้วยสัญญาณไฟแบบปรับตามพาหนะ (Vehicle Actuated) ก็สามารถปรับใช้เป็นรอบเวลาสัญญาณไฟร่วมกันได้ ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมด้วย อย่างไรก็ตามในเบื้องต้นระบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสานควรจะมีช่วงเวลาไฟเขียวบวกกับช่วงเวลาไฟเหลืองอย่างน้อยเท่ากับร้อยละ 50 ของรอบเวลาสัญญาณไฟ

3.1.1 ลักษณะการประสานของสัญญาณไฟจราจรชนิดตั้งเวลาไว้ก่อน (Pre-Timed Signal Coordination Schemes)[1]

ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสานสัมพันธ์กันมีความจำเป็นบนถนนสายหลักเพื่อต้องการลดความล่าช้าของยานพาหนะ โดยที่กระแสจราจรสามารถวิ่งผ่านทางแยกในโครงข่ายไปได้โดยไม่ต้องจอดติดสัญญาณไฟแดงในแต่ละทางแยก สัญญาณไฟจราจรสามารถทำให้ประสานสัมพันธ์กันได้หลายวิธี แต่วิธีการที่ใช้กันมากโดยอาศัยหลักการ 3 วิธีดังนี้

---

[1]Louis J Pignataro, 1973, Traffic Engineering Theory and Practice, Practice-Hall, Inc, p. 375

3.1.1.1 ระบบเวลาเดียวกัน (Simultaneous System) ตามหลักการวิธีนี้คือ ทางแยกทั้งหมดในโครงข่ายแสดงสัญญาณไฟจราจรเหมือนกัน ให้แก่กระแสจราจรเดียวกัน ในเวลาเดียวกัน ผลกระทบจากระบบนี้จะเป็นการลดความจุทางแยก (ระดับการบริการลดลง) แต่จะส่งผลดีแก่กระแสจราจรที่ต้องการเลี้ยวและมีความเร็วสามารถผ่านไปได้ แต่จะเหมาะสมมากที่สุดในกรณีที่ระยะทางระหว่างทางแยกในโครงข่ายไม่ยาวเกินไป ในกรณีที่กระแสการจราจรเลี้ยวมีน้อยก็จะเป็นผลดีต่อคนข้ามถนนสามารถข้ามถนนได้สะดวกมากขึ้น แต่ผลเสียคือจะมีส่วนช่วยสนับสนุนให้ผู้ขับขี่พยายามเร่งเครื่องยนต์เพื่อหลีกเลี่ยงการติดสัญญาณไฟในจังหวะสัญญาณไฟเหลือง หรือสัญญาณไฟแดงทุกด้าน ทำให้เกิดการฝ่าฝืนสัญญาณไฟจราจรได้ง่าย

3.1.1.2 ระบบการสลับเวลา (Alternative System) หรือเป็นการจัดกลุ่มสัญญาณ ซึ่งวิธีการจะแสดงผลแตกต่างจากวิธีแรก และเหมาะสมกับโครงข่ายทางแยกมีระยะทางอยู่ในช่วง 300 เมตร หลักการคือเมื่อกระแสจราจรเคลื่อนที่ระหว่างทางแยกอยู่ในช่วงเวลาครึ่งหนึ่งของรอบเวลาสัญญาณไฟจราจรก็จะสามารถวิ่งผ่านทางแยกไปได้โดยไม่ต้องหยุด รอบเวลาจะต้องเท่ากันในทุกสัญญาณไฟจราจร (ทุกทางแยก) ดังนั้นความเร็วของการเคลื่อนที่จะต้องคงที่

3.1.1.3 ระบบความต่อเนื่อง (Progressive System) สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีได้ดังนี้

1 ระบบความต่อเนื่องอย่างง่าย (Simple Progressive System) หลักการคือ การปล่อยสัญญาณไฟเขียวตามแผนที่ได้วางไว้เพื่อให้กระแสจราจรสามารถผ่านไปได้อย่างต่อเนื่องตามความเร็วที่กำหนด และกำหนดให้ใช้ค่าเวลาออฟเซตเท่ากับหนึ่งในสี่ของรอบเวลาสัญญาณไฟ

2 ระบบความต่อเนื่องยืดหยุ่น (Flexible Progressive System) หลักการคือ ในแต่ละสัญญาณช่วงเวลาของสัญญาณอาจปรับเปลี่ยนไปตามปริมาณการจราจรและการแสดงไฟเขียวแยกกันแต่ละสัญญาณไฟซึ่งอาจจะเริ่มปล่อยไฟเขียวที่เป็นอิสระต่อกันเพื่อให้ได้ประสิทธิผลมากที่สุด โดยที่ระบบควบคุมอาจจะเป็นแบบตั้งเวลาไว้คงที่ (Fixed - Time)หรือปรับตามยานพาหนะ (Vehicle Actuated)

3.1.2 ประเภทของระบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสาน (Types of Co-ordinated Signal System) โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของระบบ ดังนี้

3.1.2.1 การกำหนดแบบหนึ่งระบบ (Single – Dial Interconnect) ในระบบนี้จะกำหนดการควบคุมการจราจรแต่ละทางแยกเพียงหนึ่งระบบ และยอมให้มีเพียงหนึ่งรอบเวลาสัญญาณไฟ (Cycle) และการจัดจังหวะสัญญาณไฟ แต่สำหรับเวลาออฟเซต (Offset) จะกำหนดได้ถึง 3 แผนเวลา เพื่อสามารถวางแผนการจัดระบบการจราจรได้ตามความเหมาะสม

3.1.2.2 การกำหนดแบบสามระบบ (Three – Dial Interconnect) ในระบบนี้จะกำหนดการควบคุมการจราจรแต่ละทางแยกเป็น 3 ระบบเวลา โดยจัดคู่ระหว่างรอบเวลาสัญญาณไฟกับการจัดจังหวะสัญญาณได้ถึง 3 คู่แยกเป็นอิสระต่อกัน และในแต่ละคู่จะกำหนดระยะเวลาออฟเซต (Offset) ได้ถึง 3 แผนเวลา ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละคู่ ในแต่ละช่วงเวลาของวัน ระบบนี้เป็นประโยชน์มากเพราะสามารถตั้งค่าเวลาออฟเซต และรอบเวลาสัญญาณไฟจราจร ตลอดถึงการจัดจังหวะสัญญาณไฟได้เหมาะสมกับสภาพการจราจรในแต่ละช่วง เช่น ในช่วงเวลาเร่งด่วน (Peak Period), หรือนอกช่วงเวลาเร่งด่วน (Out Peak)

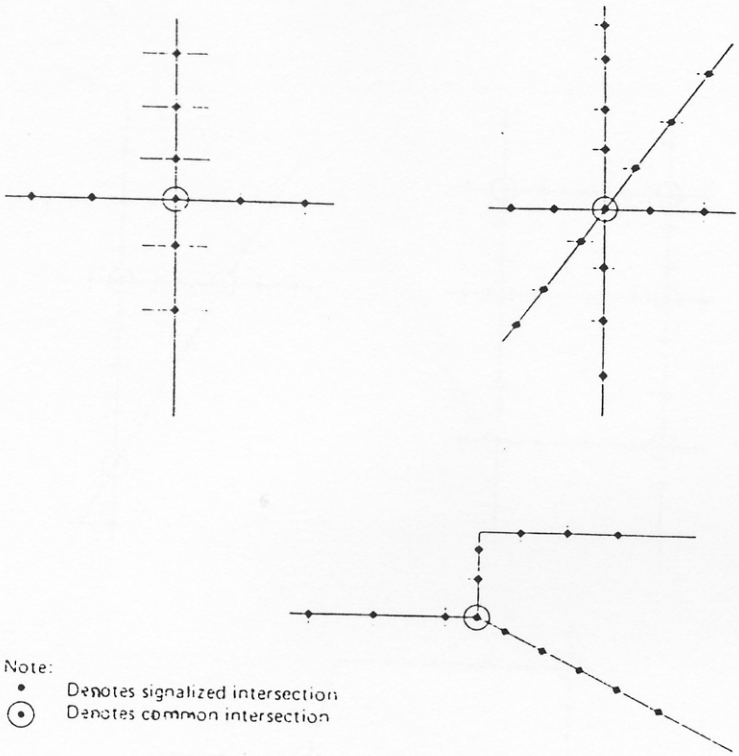
3.1.3 ประเภทของโครงข่ายสัญญาณไฟจราจร (Signal Network)[1]

ความสัมพันธ์ระหว่างไดอะแกรมเวลากับระยะทางได้พัฒนามานานซึ่งเป็นรายละเอียดของการจราจรบนถนนเส้นเดียว แต่เมื่อมีถนนหลายเส้นมาเชื่อมกันโดยกลายเป็นทางแยกร่วมกัน (Common Intersection) ผลที่ได้จะกลายเป็นโครงข่ายสัญญาณ สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

- **โครงข่ายแบบเปิด (Open Network)** ภายในโครงข่ายจะมีทางแยกร่วมเพียงหนึ่งทางแยกตลอดความยาวถนน โดยทั่วไปแล้วรอบเวลาสัญญาณไฟจราจร และจังหวะสัญญาณไฟจะถูกกำหนดไว้คงที่ตามความเหมาะสมของทางแยกร่วม (Common Intersection) แต่รอบเวลาสัญญาณไฟของแต่ละถนนจะออกแบบได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน ดังภาพประกอบ 3.1

---

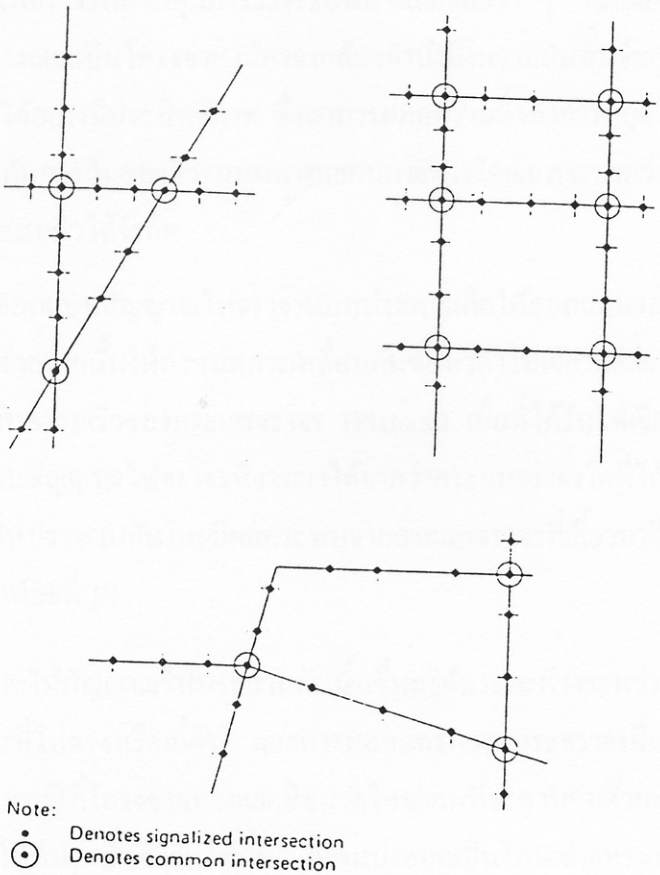
[1]Institude of Transportation Engineers, 1965, Transportation and Traffic Engineering Handbook, 3rd edition, Practice-Hall, Inc., p.831



ภาพประกอบ 3.1 โครงข่ายทางแยกแบบเปิด (Open Network)

ที่มา : Institude of Transportation Engineers, 1965, Transportation and Traffic Engineering Handbook, 3rd edition, Practice-Hall, Inc.

- **โครงข่ายแบบปิด (Closed Network)** ภายในโครงข่ายจะมีทางแยกร่วมมากกว่าหนึ่งทางแยก ดังภาพประกอบ 3.2 ระบบสัญญาณไฟจราจรทุกทางแยกที่รวมกันเป็นโครงข่ายจะต้องมีรอบเวลาสัญญาณไฟจราจรเท่ากันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทางแยกที่วิกฤติ (ทางแยกที่ต้องการรอบเวลาสัญญาณไฟจราจรมากที่สุด) และผลรวมของเวลาออฟเซต (Offset) เวลาไฟเขียว และเวลาไฟเหลือง ที่อยู่ในระบบโครงข่ายจะต้องเท่ากับรอบเวลาสัญญาณไฟของโครงข่ายหรือเป็นอัตราส่วนกัน



ภาพประกอบ 3.2 โครงข่ายทางแยกแบบปิด (Closed Network)

ที่มา : Institude of Transportation Engineers, 1965, Transportation and Traffic Engineering Handbook, 3rd edition, Practice-Hall, Inc.

3.2 รอบเวลาสัญญาณไฟจราจรแบบประสาน[1]

สัญญาณไฟจราจรที่ควบคุมการจราจรบนทางแยกเดี่ยว ๆ จะแตกต่างจากสัญญาณไฟจราจรที่ควบคุมบนทางแยกเป็นโครงข่าย เนื่องจากต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ของกระแสจราจรที่สามารถวิ่งผ่านทางแยกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถลดความถี่ของการหยุด ทำให้เสียเวลาโดยไม่จำเป็น และช่วยป้องกันการล้นของคิวรถบนทางแยกปลายทางโดยเฉพาะหากว่าระยะทางระหว่างทางแยกรองรับการสะสมคิวได้จำกัด

หลักการออกแบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสานคือให้ออกแบบรอบเวลาตามปกติของแต่ทางแยกในโครงข่ายจากนั้นให้กำหนดการเหลื่อมกันของเวลาไฟเขียวแต่ละทางแยกทั้งนี้ต้องมีความสัมพันธ์กันกับความเร็วของกระแสจราจร (Platoon) เมื่อที่ได้รับไฟเขียวตลอดโครงข่าย ประสิทธิภาพของระบบสัญญาณไฟจราจรพิจารณาได้จากว่ากระแสจราจรใดที่ได้รับผลจากกำหนดจังหวะสัญญาณไฟให้ประสานกันโดยมีผลกระทบจากกระแสจราจรที่เลี้ยวมากีดขวางกระแสจราจรหลักบนถนนหลักน้อยที่สุด

การกำหนดให้สัญญาณไฟประสานกันนั้นขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างทางแยก สัดส่วนของกระแสจราจรที่ไปตรงหรือเลี้ยว และการสอดแทรกของกระจราจรอื่นๆ ที่รบกวนกระแสจราจรหลัก ถ้าในกรณีที่โครงข่ายทางแยกมีขนาดใหญ่เกินที่จะควบคุมด้วยระบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสานกันให้มีประสิทธิภาพได้นั้น ควรแบ่งออกเป็นโครงข่ายทางแยกย่อย และออกแบบรอบเวลาสัญญาณไฟแยกในแต่ละโครงข่าย หลังจากนั้นค่อยมากำหนดสัญญาณให้ประสานกัน ดังนั้นพื้นฐานของระบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสานกัน หรือจะเรียกอีกอย่างคือการออกแบบสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ โดยแยกการออกแบบรอบเวลาสัญญาณไฟ และเวลาไฟเขียวให้เหมาะกับปริมาณจราจรในช่วงเวลาที่กำหนด และวางแผนไว้ เช่นในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า เย็น หรือ นอกช่วงเวลาเร่งด่วน

---

[1]Acelik, R., December 1995, Traffic Signals : Capacity and Timing Analysis, 6th Reprint, ARR No. 123, Victoria, pp. 89

การคำนวณสัญญาณไฟจราจรแบบประสาน รวมถึงการคำนวณรอบเวลาสัญญาณไฟ เวลาไฟเขียว ของแต่ละทางแยกในโครงข่าย และคำนวณเวลาออฟเซต (Offsets Time) คือการคำนวณเวลาเริ่มของสัญญาณไฟเขียว อาศัยข้อมูลดังนี้

1) โครงข่ายทางแยก
2) ระยะทางระหว่างทางแยก, lc (m.) วัดจากเส้นหยุดจนถึงเส้นหยุดของอีกทางแยก
3) ความเร็วเฉลี่ยของกลุ่มรถ, Vc (km/h) โดยไม่มีการสอดแทรก จะได้เวลาเดินทาง, $tc = 3.6lc/Vc$ (s)
4) ปริมาณกระแสจราจรของแยกต้นทาง
5) สักษณะการไหลของกลุ่มรถโดยพิจารณาถึงความเร็วของยานพาหนะที่แตกต่างกัน

การคำนวณสัญญาณไฟจราจรแบบประสานเพื่อให้ได้ความต่อเนื่องของกระแสจราจรนับว่ามีความยุ่งยากมากโดยเฉพาะโครงข่ายที่ต้องการความต่อเนื่องของกระแสจราจรสองทิศทาง. ด้วยเหตุผลนี้จึงมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์มากมายที่ถูกพัฒนา เช่น TRANSYT, SCOOT หรือ SCAT เป็นต้น สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณไฟจราจรในโครงข่ายทางแยกขนาดใหญ่

3.2.1 รอบเวลาสัญญาณไฟและเวลาไฟเขียว (Cycle Time and Green Times)

การออกแบบรอบเวลาสัญญาณไฟต้องแน่ใจว่าระดับความอิ่มตัว (Degree of Saturation, Xp) น้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ โดยทั่วไปแล้วค่า Xp เท่ากับ 0.90 ทางแยกที่ต้องการรอบเวลาสัญญาณไฟจราจรมากที่สุดถือว่าเป็นทางแยกที่วิกฤต และสามารถปรับรอบเวลาสัญญาณไฟจราจรของทางแยกอื่นในโครงข่ายให้เท่ากับค่าสูงสุดได้ ส่วนทางแยกรองอาจจะกำหนดให้รอบเวลาสัญญาณไฟจราจรเป็นครึ่งหนึ่งของทางแยกหลัก ข้อเสียคือเป็นการเพิ่มความล่าช้าให้กับรถที่หยุดบนทางแยกหลัก แต่จะช่วยการระบายรถที่ต้องการเลี้ยวและคนข้ามถนน ดังนั้นการออกแบบรอบเวลาสัญญาณไฟจราจรแบบประสานกัน, เวลาไฟเขียว และระยะเวลาเปลี่ยนจังหวะสัญญาณ คือการออกแบบเป็นทางแยกเดี่ยวๆ นั้นเองซึ่งวิธีการจะอธิบายต่อไป

3.2.2 เวลาออฟเซต (Offsets Time)

เวลาออฟเซต (Offsets Time, O) คือระยะเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นการเคลื่อนที่ของกระแสการจราจรจากทางแยกต้นทางไปจนถึงทางแยกปลายทางขณะแสดงสัญญาณไฟเขียว โดยคำนึงถึงความต่อเนื่องของกระแสจราจร สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$O = tc + (gu - gd) / 2$$

เมื่อ

O คือ เวลาออฟเซต, (วินาที)
(Offsets Time)

tc คือ เวลาเดินทางเฉลี่ยระหว่างทางแยก, (วินาที)
(Average Cruising Time)

gu คือ เวลาไฟเขียวของทางแยกต้นทาง, (วินาที)
(Upstream Green Time)

gd คือ เวลาไฟเขียวของทางแยกปลายทาง, (วินาที)
(Downstream Green Time)

ในกรณีที่อยู่นอกช่วงเวลาเร่งด่วน (Off Peak Periods) ซึ่งปริมาณจราจรไม่หนาแน่นมาก อาจกำหนดให้ค่าเวลาออฟเซต (O) เท่ากับค่าเวลาเดินทางเฉลี่ย (tc) เพื่อให้กระแสการจราจรสามารถเคลื่อนที่ไปได้อย่างต่อเนื่องตลอดโดยไม่ถูกสอดแทรก (หมายเหตุ : ค่าเวลาเดินทางเฉลี่ย (tc) นอกช่วงเวลาเร่งด่วนต้องน้อยกว่าค่าที่อยู่ในช่วงเวลาเร่งด่วน (Peak Periods) อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงความเหมาะสมของการเริ่มไฟเขียวที่ทางแยกต้นทางให้สอดคล้องกับความยาวคิวของทางแยกปลายทางหากไม่เหมาะสมแล้วจะทำให้เป็นการเพิ่มความยาวคิว ดังนั้นในกรณีที่คิวรถที่ทางแยกปลายทางมีลักษณะถูกสอดแทรกหรือติดขัด เวลาออฟเซตอาจจะคำนวณได้ดังนี้

$$O = tc - (Nd / S)$$

เมื่อ

O คือ เวลาออฟเซต, (วินาที)
(Offsets Time)

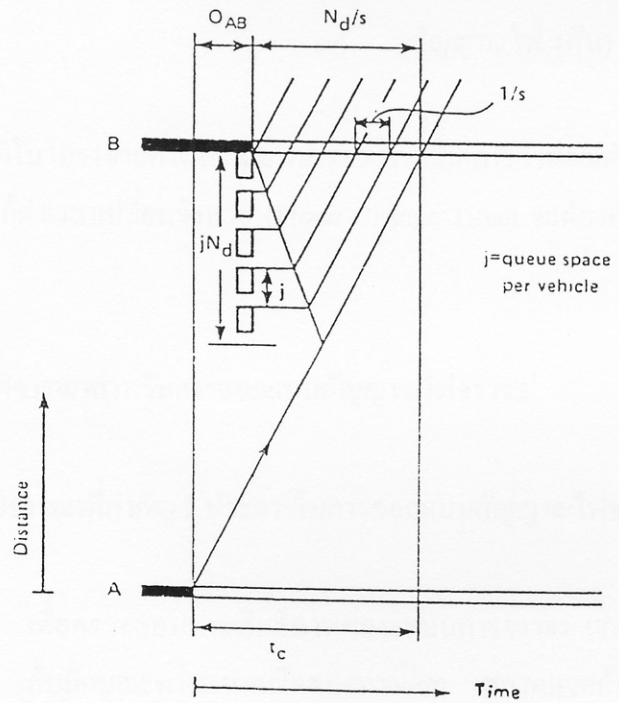
tc คือ เวลาเดินทางเฉลี่ยระหว่างทางแยก, (วินาที) (Average Cruising Time)

Nd คือ จำนวนคิวรถเฉลี่ยทางแยกปลายทาง, (คัน) (Average Queue in Downstream)

S คือ กระแสการไหลอิ่มตัวทางแยกปลายทาง, (คันต่อวินาที) (Saturation Flow in Downstream)

Nd / S คือ เวลาที่คิวรถคันสุดท้ายผ่านทางแยก, (วินาที)

จากสมการข้างต้นอธิบายภาพประกอบ 3.3 (สำหรับคิวรถบนหนึ่งช่องจราจร)



ภาพประกอบ 3.3 นิยามของค่าตัวแปร (Nd / S)

ที่มา : Rahmi A., December 1995, Traffic Signal : Capacity and Timing Analysis, 6th Reprint, Arr 123, Victoria

แต่ถ้าจำนวนค่าจำนวนคิวรถ (Nd) มีมากเกินไปก็จะทำให้สมการข้างต้นติดลบได้ หรือเรียกว่าเป็นความต่อเนื่องย้อนกลับ (Reverse Progression) ดังนั้นควรปรับแก้ค่าจำนวนคิวรถใหม่ได้ดังนี้

$$Nd = No + Nt$$

เมื่อ

Nd คือ จำนวนคิวรถเฉลี่ยทางแยกปลายทาง, (คัน) (Average Queue in Downstream)

No คือ จำนวนคิวรถส่วนเกินเฉลี่ย, (คัน) (Average Overflow Queue)

Nt คือ จำนวนรถที่เลี้ยวเข้าถนนหลักต่อหนึ่งรอบสัญญาณไฟ, (คัน) (Turning Flow)

ในกรณีที่ในโครงข่ายทางแยกมีมากกว่า 2 ทางแยกการคำนวณค่าเวลาออฟเซต (Offsets Time) และการปรับแก้ค่าเวลาเปลี่ยนจังหวะ (Phase Change Time) จะต้องคำนวณซ้ำอีกรอบในแต่ละทางแยก

3.3 หลักการพิจารณาสำหรับการออกแบบสัญญาณไฟจราจร[1]

3.3.1 ข้อพิจารณาที่สำคัญ 2 ประการในการออกแบบสัญญาณไฟจราจร มีดังนี้

ก. เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบการจราจร (Traffic Performance) ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะทางเรขาคณิตของทางแยก สภาพแวดล้อมของถนน การจัดช่องทางจราจร รอบเวลาสัญญาณไฟ จังหวะของสัญญาณไฟ และปริมาณการจราจร เป็นต้น

---

[1]Acelik, R., December 1995, Traffic Signals : Capacity and Timing Analysis, 6th Reprint, ARR No. 123, Victoria, pp. 32-33

ข. เพื่อการออกแบบ และการวางแผนการจราจร สำหรับประสิทธิภาพการทำงานของระบบการจราจรที่ดีที่สุด โดยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขต่าง ๆ ในข้อ ก. ซึ่งสามารถได้มาจากการออกแบบในลักษณะต่าง ๆ

อย่างไรก็ตามการพิจารณาออกแบบสัญญาณไฟจราจรควรมองในมุมกว้างรวมถึงการจัดการระบบจราจร (Traffic System Management) และคำนึงถึงความปลอดภัย (Safety) การลดความขัดแย้ง (Conflict) การสิ้นเปลืองพลังงาน (Fuel Consumption) คนข้ามถนน (Pedestraints) เป็นต้น โดยไม่เน้นหนักแต่เฉพาะค่าสถิติ (เช่น ความล่าช้า และความยาวคิว เป็นต้น) เพียงอย่างเดียว และในบางครั้งก็ไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการที่สามารถลดค่าสถิติทางแยกได้ดีที่สุดสำหรับการควบคุมการจราจร

3.3.2 ช่วงเวลาพิจารณาออกแบบ (Design Period)

การคำนวณออกแบบสัญญาณไฟจราจร ควรจะอยู่บนพื้นฐานของปริมาณการจราจรในชั่วโมงเร่งด่วน (Peak Hour) ของวันทำงาน และลักษณะของกระแสการจราจร สำหรับทางแยกในตัวเมือง (Urban Areas) ควรแยกการคำนวณสำหรับช่วงเวลาเร่งด่วนตอนเช้า และตอนเย็น เพราะรูปแบบของการจราจรจะมีความแตกต่างกัน เช่นโดยปกติทิศทางการเคลื่อนที่ในตอนเช้าคนออกจากบ้านไปที่ทำงาน ช่วงเย็นคนออกจากที่ทำงานกลับไปบ้านอาจจะไม่กลับเส้นทางเดิม

บางสถานที่ช่วงเวลาที่การจราจรติดขัดมากที่สุด อาจจะเกิดขึ้นภายนอกช่วงเวลาเร่งด่วนตอนเช้าและตอนเย็นของวันทำงาน เช่น ทางแยกในพื้นที่ห้างสรรพสินค้า ปัญหาการจราจรติดขัดอาจเกิดในช่วงเวลาที่ห้างฯ เปิด หรือปิดบริการ ดังนั้นการออกแบบก็ควรจะมีการตรวจสอบในช่วงเวลาเหล่านี้ด้วย ในการคำนวณออกแบบสัญญาณไฟ ควรจะอยู่บนพื้นฐานของการนับปริมาณการจราจรที่แท้จริง และถ้าเป็นไปได้ก็ควรที่จะทำการวัดปริมาณการจราจรอิ่มตัวและเวลาสูญเปล่า เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และสามารถรองรับปริมาณจราจรที่มีอยู่จริงได้

3.4 โปรแกรม aaSIDRA 1.0 สำหรับการออกแบบสัญญาณไฟจราจรบนทางแยกเดี่ยว

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเบื้องต้นของโปรแกรม aaSIDRA 1.0 สำหรับการออกแบบสัญญาณไฟจราจรบนทางแยกเดี่ยวแบบตั้งเวลาไว้คงที่เท่านั้น (Fixed Time) รวมถึงหลักการพื้นฐานของโปรแกรม ซึ่ง Akcelik ได้กล่าวรายละเอียดไว้ใน "Traffic Signals : Capacity and Timing Analysis" ARR No. 1995

3.4.1 เกี่ยวกับโปรแกรม aaSIDRA 1.0[1]

ปี ค.ศ. 1975-1979, Akcelik ได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์สัญญาณไฟจราจรขึ้นมาใช้เป็นรุ่นเวอร์ชั่นแรกโดยใช้ชื่อว่า SIDRA 1.0 ต่อมาในปี ค.ศ. 1984 ได้พัฒนาปรับปรุงใหม่เป็นเวอร์ชั่น SIDRA 2.0 ขึ้นอยู่กับสถาบัน ARRB Transport Research Ltd ประเทศออสเตรเลีย และ SIDRA 5.2 ได้พัฒนาเป็นเวอร์ชั่นสุดท้ายของสถาบันในปี ค.ศ. 1999. ถือได้ว่าเป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยมอย่างมาก และมีหลายประเทศนำโปรแกรม SIDRA มาใช้อย่างกว้างขวาง. ต่อมาในปี ค.ศ. 2000 Akcelik ได้ก่อตั้งบริษัทชื่อว่า Akcelik & Associates Pty Ltd. และได้จดลิขสิทธิ์ของตัวเองโดยเปลี่ยนมาใช้ชื่อใหม่ว่า aaSIDRA 1.0

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์สัญญาณไฟจราจร aaSIDRA (aaTraffic Signalised & Unsignalised Intersection Design and Research Aid) สามารถนำมาใช้วิเคราะห์การจราจรบนทางแยกต่างๆ ได้ดังนี้คือ 1) ทางแยกที่ควบคุมการจราจรด้วยสัญญาณไฟ (Fixed – Time / Pretimed and Actuate, 2) วงเวียน (Roundabouts, 3) ทางแยกที่ใช้ป้ายหยุดควบคุมการจราจรทั้งชนิดป้ายหยุดควบคุมทุกทาง (All-Way Stop Sign-Control) หรือสองทาง (Two-Way Stop Sign-Control) และ 4)ทางแยกที่ควบคุมโดยให้ทาง (Give-Way Sign-Control) และแม้ว่า aaSIDRA จะเป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์เฉพาะทางแยกเดี่ยวเท่านั้น (Single Intersection) แต่สามารถวิเคราะห์สัญญาณไฟเป็นแบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสานได้โดยการป้อนค่าข้อมูลใน Platooned Arrival Data เพื่อให้โปรแกรมวิเคราะห์ออกแบบรอบเวลาสัญญาณไฟโดยคำนึงถึงลักษณะของ Platooned Arrival

---

[1] "aaSIDRA User Guide", June 2000, Akcelik & Associates Pty Ltd., Victoria., pp 1-7

การใช้งานโปรแกรม aaSIDRA 1.0 มีความคล่องตัวมากกว่าเวอร์ชั่นก่อนหน้านี้ เนื่องจากได้จัดกลุ่มไฟล์เป็น "Project Tree" ทำให้สะดวกในการใช้ แต่ในการป้อนข้อมูล (RIDES Module) และการแสดงผล (GOSID Module) ยังมีลักษณะเหมือนเดิม คือมีทั้งการแสดงผลแบบข้อมูล (Text) และแบบกราฟฟิค (Graphic) อาจจะยังมีความยุ่งยากหลายขั้นตอน. ในส่วนของประโยชน์ของโปรแกรมคือสามารถประมาณค่าความจุทางแยก และวิเคราะห์สถิติทางแยกได้ เช่น ความล่าช้า (Delay), ความยาวคิว (Queue Length), การหยุด (Stop Rate), ประมาณค่าใช้จ่ายและความสิ้นเปลืองพลังงาน (Operation Cost and Fuel Consumption) หรือการแพร่กระจายมลพิษ (Pollutant Emissions) เป็นต้น. แต่ทั้งนี้ความถูกต้องขึ้นอยู่กับแต่ละสถานที่ และข้อสมมุติฐานข้อมูลสำหรับการป้อนข้อมูลในโปรแกรม. การออกแบบรอบเวลาสัญญาณไฟจราจร การจัดจังหวะสัญญาณไฟ รวมทั้งการหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการควบคุมทางแยก

3.4.2 หลักการวิเคราะห์ออกแบบรอบเวลาสัญญาณไฟแบบคงที่ (Fixed Time) [1]

3.4.2.1 รอบเวลาสัญญาณไฟ (Signal Timings, C)

การพิจารณารอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสมสำหรับควบคุมการจราจรบนทางแยก รวมถึงการคัดเลือกวิธีการต่าง ๆ มาใช้ควบคุม อาศัยกฎเกณฑ์ที่แตกต่างกันในการพิจารณาถึงประสิทธิของมาตรการควบคุมเหล่านั้น สำหรับทางแยกเดี่ยว (Isolated Intersection) จะใช้ค่าความล่าช้าของยานพาหนะ (Vehicle Delay) และค่าความยาวคิว (Queue Length) ของยานพาหนะบนทางแยกเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของทางแยก แต่อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์การหยุดของยานพาหนะ (Vehicle Stops Rate) ก็ควรที่จะได้รับการพิจารณาด้วย. สำหรับหลักการพิจารณาออกแบบสัญญาณไฟของโปรแกรม aaSIDRA 1.0 นั้นคือต้องคัดเลือกกระแสการจราจรทั้งหมดบนทางแยกที่เป็นการเคลื่อนที่วิกฤติ (การเคลื่อนที่ที่ต้องการเวลาไฟเขียวมากที่สุด) ซึ่งเมื่อทราบว่าการเคลื่อนใดเป็นการเคลื่อนที่ที่วิกฤติแล้ว ก็สามารถหาค่าเวลาสูญเปล่าของทางแยก (L) อัตราส่วนการไหล (Y) และอัตราส่วนเวลาไฟเขียว (U) ซึ่งค่าตัวแปรเหล่านี้จะถูกใช้ในการคำนวณหารอบเวลาสัญญาณไฟและเวลาไฟเขียวบนทางแยก

---

[1] Acelik, R., December 1995, Traffic Signals : Capacity and Timing Analysis, 6th Reprint, ARR No. 123, Victoria

ก. รอบเวลาสัญญาณไฟโดยประมาณ (Approximate Optimum Cycle Time)

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าโดยประมาณของรอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสม ดังนี้

$$C_0 = \frac{(1.4 + k)L + 6}{1 - Y}$$

เมื่อ

C_0 คือ ค่าประมาณของรอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสม (วินาที)

L คือ เวลาสูญเปล่าของทางแยก (วินาที)

Y คือ อัตราส่วนการไหลของทางแยก

k = K / 100 (ค่า Stop Penalty)

สำหรับค่า Stop Penalty พารามิเตอร์ มีดังนี้

k = 0.4 สำหรับความสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงที่น้อยที่สุด

k = 0.2 สำหรับค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

k = 0 สำหรับความล่าช้าที่น้อยที่สุด

(1) จากสมการจะให้ค่าโดยประมาณของรอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสม สำหรับการเคลื่อนที่ที่วิกฤติเท่านั้น ถ้าความล่าช้าและการหยุดสำหรับการเคลื่อนที่อื่น ๆ รวมอยู่ในฟังก์ชัน ของการทำงาน (Performance) ด้วย ก็จะทำให้ได้รอบเวลาสัญญาณไฟที่สั้นลง โดยเฉพาะรอบเวลาสัญญาณไฟที่สั้นกว่ารอบเวลาสัญญาณไฟที่คำนวณจากสมการนี้ จะช่วยลดความล่าช้าของการเคลื่อนที่รอง รวมทั้งของคนเดินทางเท้า

(2) สมการนี้อยู่บนพื้นฐานของการสมมุติว่า ระดับของปริมาณการจราจรอิ่มตัวจะคงอยู่ตลอดช่วงเวลาไฟเขียว แต่ในความเป็นจริงปริมาณการจราจรอิ่มตัว อาจจะลดน้อยลงในระหว่างช่วงเวลาไฟเขียว เช่น กรณีของ Short Lane ดังนั้นในกรณีนี้รอบเวลาสัญญาณไฟที่สั้นลงก็จะให้ผลของการทำงานที่ดีกว่า

ข. รอบเวลาสัญญาณไฟใช้งาน (Practical Cycle Time)

รอบเวลาสัญญาณไฟที่น้อยที่สุด ซึ่งรับรองได้ว่าค่าระดับความอิ่มตัวของทุกการเคลื่อนที่ จะต่ำกว่าค่าระดับความอิ่มตัวสูงสุดที่ยอมรับที่กำหนด ($x < x_p$) เรียกว่า รอบเวลาสัญญาณไฟใช้งาน ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการ

$$C_p = L / (1-U)$$

เมื่อ

L คือ เวลาสูญเปล่าของทางแยก (วินาที)

U คือ อัตราส่วนเวลาไฟเขียวของทางแยก

ค. การเลือกรอบเวลาสัญญาณไฟ

รอบเวลาสัญญาณไฟที่คำนวณจากสมการ C_0 หรือ C_p สามารถที่จะใช้ในการปฏิบัติ อย่างไรก็ตาม แนะนำว่าควรจะคำนวณหารอบเวลาสัญญาณไฟทั้ง C_0 และ C_p และรอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสม (Suitable Cycle Time, C) ที่เลือกใช้ควรจะมีค่าอยู่ระหว่าง C_p และ C_0 รวมทั้งรอบเวลาสัญญาณไฟที่เลือกนี้ (C) ควรจะเป็นไปตามเงื่อนไข $C \leq C_{max}$ ด้วยโดยที่ C คือ รอบเวลาสัญญาณไฟสูงสุดที่ยอมรับ (Maximum Acceptable Cycle Time)

3.4.2.2 เวลาไฟเขียว (Green Times)

การคำนวณเวลาไฟเขียว จะดำเนินการได้ตามขั้นตอนดังนี้

ก. คำนวณเวลาไฟเขียวของการเคลื่อนที่ที่วิกฤติ

ข. คำนวณเวลาไฟเขียวของการเคลื่อนที่ที่ไม่วิกฤติ

ค. หาค่าเวลาไฟเขียวของจังหวะสัญญาณไฟ

ซึ่งการคำนวณในแต่ละขั้นตอนนั้น ควรจะใช้แผนภาพการค้นหาการเคลื่อนที่ที่วิกฤติ จะช่วยให้เห็นภาพความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่และจังหวะสัญญาณไฟ และความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ที่วิกฤติกับการเคลื่อนที่ที่ไม่วิกฤติ

ก. เวลาไฟเขียวของการเคลื่อนที่ที่วิกฤติ

จากรอบเวลาสัญญาณไฟ (c) ที่ได้ จะสามารถหาเวลาไฟเขียวประสิทธิผลทั้งหมดจาก C – L เมื่อ L คือผลรวมของเวลาสูญเปล่าของการเคลื่อนที่วิกฤติ เวลาไฟเขียวประสิทธิผลทั้งหมดสามารถที่จะกระจายไปยังการเคลื่อนที่ที่วิกฤติ จากสมการ

$$g = [(C - L) / U] * u$$

เมื่อ

u คือ อัตราส่วนเวลาไฟเขียวของการเคลื่อนที่ที่วิกฤติ

U คือ อัตราส่วนเวลาไฟเขียวของทางแยก

ข. เวลาไฟเขียวของการเคลื่อนที่ที่ไม่วิกฤติ

ในกรณีง่าย ๆ ที่ไม่มี Overlap Movements การคำนวณเวลาไฟเขียวของการเคลื่อนที่ที่วิกฤติ ก็มีความเพียงพอที่จะหาเวลาไฟเขียวการเคลื่อนที่อื่น ๆ ทั้งหมดที่เป็นการเคลื่อนที่ที่ไม่วิกฤติ รวมทั้งเวลาไฟเขียวของเฟส ในกรณีนี้ เวลาไฟเขียวประสิทธิผลของการเคลื่อนที่ที่ไม่วิกฤติ ซึ่งได้รับสิทธิในเขตทาง (สัญญาณไฟเขียว) ในเฟสเดียวกันกับการเคลื่อนที่ที่วิกฤติ ซึ่งมีเวลาไฟเขียวและเวลาสูญเปล่าเป็น g_c และ l_c จะสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$g = (g_c + l_c) - l$$

เมื่อ

g คือ เวลาไฟเขียวประสิทธิผล (วินาที)

l คือ เวลาสูญเปล่าของการเคลื่อนที่ที่ต้องการหา (วินาที)

g_c คือ เวลาไฟเขียวประสิทธิผลของการเคลื่อนที่ที่วิกฤติ (วินาที)

l_c คือ เวลาสูญเปล่าของการเคลื่อนที่ที่วิกฤติ (วินาที)

ค. ค่าเวลาไฟเขียวของจังหวะสัญญาณ (Phase Green Times)

ค่าเวลาแสดงไฟเขียวของจังหวะสัญญาณสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$G = (g+l)-I$$

เมื่อ

G คือ เวลาไฟเขียว (วินาที)

g+l คือ เวลาของการเคลื่อนที่ซึ่งได้รับสัญญาณไฟเขียว (วินาที)

I คือ เวลาระหว่างไฟเขียว (วินาที)

3.4.2.3 เวลาเปลี่ยนจังหวะสัญญาณ (Phase Change Times)

$$F_i = F_{I-1} + (I+G)_{I-1}$$

เมื่อ

F_i คือ เวลาเปลี่ยนจังหวะสัญญาณที่ i

F_{I-1} คือ เวลาเปลี่ยนจังหวะสัญญาณก่อนหน้า

$(I+G)_{I-1}$ คือ ผลรวมของเวลาระหว่างไฟเขียวและเวลาไฟเขียว

3.5 แนวคิดพื้นฐานของโปรแกรม aaSIDRA 1.0[1]

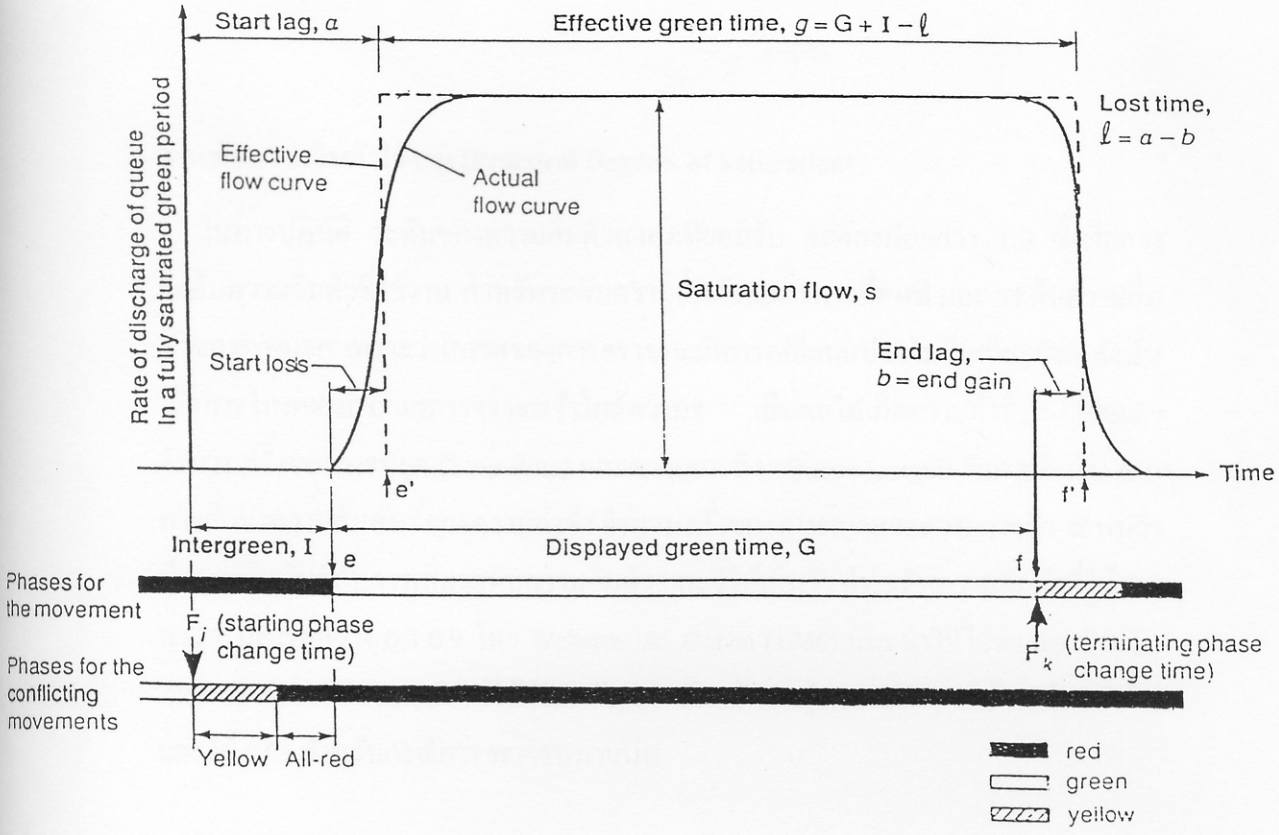
แบบจำลองพื้นฐานของทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร จะสมมุติว่าเมื่อสัญญาณไฟจราจรเปลี่ยนเป็นไฟเขียว การเคลื่อนตัวของยานพาหนะในคิวผ่านเส้นหยุด จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงอัตราที่เรียกว่าปริมาณการจราจรอิ่มตัว (Saturation Flow) ซึ่งจะยังคงที่อยู่จนกระทั่งแถว/คิวของยานพาหนะสิ้นสุด หรือสิ้นสุดช่วงเวลาไฟเขียว ดูภาพประกอบ 3.4 แบบจำลองพื้นฐานจะแทนที่เส้นโค้งการเริ่มเคลื่อนที่ออก (Actual Departure Flow Curve) ด้วยสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีพื้นที่เท่ากัน ดังแสดงด้วยเส้นประซึ่งความสูงจะเท่ากับปริมาณการจราจรอิ่มตัว และความกว้างจะเท่ากับเวลาไฟเขียวประสิทธิผล (Effective Green Time) ดังนั้นพื้นที่ใต้เส้นโค้งคือ ปริมาณการจราจรสูงสุดที่สามารถเคลื่อนตัวออกไปได้ในรอบเวลาสัญญาณไฟเฉลี่ย จากรูปจะเห็นว่าเวลาระหว่างไฟเขียว (Intergreen Time) ก็คือเวลาจากจุดสิ้นสุดของช่วงเวลาไฟเขียวของจังหวะสัญญาณหนึ่งถึงจุดเริ่มต้นของช่วงเวลาไฟเขียวของจังหวะสัญญาณถัดไป ซึ่งเท่ากับผลรวมของเวลาไฟเหลือง(Yellow/Amber Time) และเวลาไฟแดงทุกด้าน (All-Red Time) ดังนั้นรอบเวลาสัญญาณไฟจราจร(Cycle Time) ก็คือ ผลรวมของเวลาระหว่างไฟเขียวทั้งหมด และเวลาไฟเขียว (Green Time) ของทุกจังหวะสัญญาณ

สำหรับเวลาล่าช้าของการเริ่มต้น (Start Lag Time) ก็คือ ผลรวมของเวลาระหว่างไฟเขียวและเวลาที่สูญเสียไปจากการออกรถ (Start Loss) และเวลาล่าช้าของการสิ้นสุด (End Lag Time) ก็คือเวลาเกี่ยวพันของไฟเหลือง (End Gain) ค่าเวลาสูญเปล่า (Lost Time) ของ Movement จะเท่ากับผลต่างระหว่างเวลาล่าช้าของการเริ่มต้นและเวลาของการสิ้นสุด และเท่ากับเวลาระหว่างไฟเขียวบวกกับผลต่างระหว่างเวลาที่สูญเสียไฟจากการออกรถและเวลาเกี่ยวพันของไฟเหลือง ความแตกต่างระหว่างเวลาสูญเปล่า และเวลาระหว่างไฟเขียวของ Movement จะมีความแตกต่างกันในแต่ละสถานที่ อย่างไรก็ตาม โดยทั่ว ๆ ไฟเวลาสูญเปล่าของ Movements สามารถที่จะสมมุติให้เท่ากับเวลาระหว่างไฟเขียวหรือเท่ากับเวลาระหว่างไฟเขียวบวกเพิ่ม 1 วินาที

สำหรับ Movements ที่ใช้ในการหาค่าความจุ และเวลาของสัญญาณไฟที่ต้องการของทางแยกจะเรียกว่า Critical Movements ต่อจังหวะสัญญาณ ซึ่งเป็น Movement ที่ต้องการเวลายาวนานที่สุดในจังหวะสัญญาณนั้น แต่เมื่อมี Overlap Movements ก็จะมีความจำเป็นที่จะต้องค้นหา Critical Movements หรือ Movement ซึ่งมีระยะทางที่ยาวที่สุด (Longest Path) สำหรับเวลาสูญเปล่าของทางแยก(Intersection Lost Time) ก็คือ ผลรวมของเวลาสูญเปล่าของทุก Critical Movements

---

[1]Acelik, R., December 1995, Traffic Signals : Capacity and Timing Analysis, 6th Reprint, ARR No. 123, Victoria



ภาพประกอบ 3.4 โมเดลพื้นฐานของการเคลื่อนที่

ที่มา : Rahmi A., December 1995, Traffic Signal : Capacity and Timing Analysis, 6th Reprint, Arr 123, Victoria

3.5.1 ความจุและระดับความอิ่มตัว (Capacity and Degree of Saturation)

1 การพิจารณาการเคลื่อนที่ (Movement Considerations)

ความจุของการเคลื่อนที่ (Movement Capacity) ที่มีการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรบนทางแยกสามารถปล่อยให้ยานพาหนะสามารถเคลื่อนที่ผ่านทางแยกไปด้วยตามปริมาณการจราจรอิ่มตัว และรอบเวลาสัญญาณไฟจราจรสามารถรองรับกับปริมาณจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเพิ่มความจุของการเคลื่อนที่ได้โดยการปรับเพิ่มเวลาไฟเขียว (Green Time)

2 การพิจารณาทางแยก (Intersection Considerations)

ความจุทางแยก คือสภาวะที่ทางแยกสามารถรองรับปริมาณจราจรได้ดีและสามารถระบายการจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3 ระดับความอิ่มตัวใช้งาน (Practical Degrees of Saturation)

ในทางปฏิบัติ ระดับของความอิ่มตัวสูงสุดที่ยอมรับ จะต้องน้อยกว่า 1.0 ซึ่งเรียกว่า ระดับความอิ่มตัวที่ใช้งาน สำหรับระดับความอิ่มตัวของการเคลื่อนที่ และ ระดับความอิ่มตัวของทางแยก เพราะว่าสภาพของการจราจรจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มีเสถียรภาพ ดังนั้น เมื่อการไหลของกระแสการจราจรเข้าใกล้ความจุ เป็นผลให้เกิดความล่าช้า (Delay) จำนวนครั้งของการหยุด (Stop Rate) และความยาวคิว (Queue Length) ที่มากเกินไป จากการศึกษาความสัมพันธ์ของความล่าช้า จำนวนครั้งของการหยุดและความยาวคิว จะพบว่ามีความสัมพันธ์กับการเพิ่มระดับความอิ่มตัว และชี้ให้เห็นว่า ค่าระดับความอิ่มตัวที่ใช้งานควรจะมีค่าระหว่าง 0.8-0.9 โดย Webster & Cobbe (1966) แนะนำให้ใช้ค่า 0.9 สำหรับ Akcelik (1995) จะแนะนำให้ใช้ค่าเท่ากับ 0.9 สำหรับจุดมุ่งหมายในการใช้งานโดยทั่วไป และใช้ 0.95 สำหรับกรณีการจราจรหนาแน่น

3.5.2 การค้นหาการเคลื่อนที่ที่วิกฤติ (Critical Movement Identification)

1 เวลาการเคลื่อนที่ (Movement Time Concept)

ถ้ากำหนดเวลาให้การเคลื่อนที่วิกฤติอย่างเพียงพอและเหมาะสมตามความจุแล้วจะทำให้การเคลื่อนที่มีความจุเพียงพอ (Movement Capacity) การคำนวณเวลาที่จัดสรรให้กับการเคลื่อนที่ได้จากสมการ

$$t = g + l = I + G$$

เมื่อ

t คือ เวลาของการเคลื่อนที่ (วินาที)
G คือ เวลาแสดงไฟเขียวของการเคลื่อนที่ (วินาที)
I คือ เวลาระหว่างไฟเขียวของการเคลื่อนที่ (วินาที)

และเวลาที่ต้องการของการเคลื่อนที่ยังสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$t = uC + l$$

เมื่อ

u คือ อัตราส่วนเวลาไฟเขียวที่ต้องการ

C คือ รอบเวลาสัญญาณไฟ (วินาที)

l คือ เวลาสูญเปล่าของการเคลื่อนที่ (วินาที)

อัตราส่วนเวลาไฟเขียว (u) ที่ต้องการ จะคำนวณเพื่อให้ได้มาซึ่งระดับความอิ่มตัวสูงสุดที่ยอมรับในการใช้งาน (Maximum Acceptable "Practical" Degree of Saturation, x_p) จะคำนวณได้จากสมการ

$$u = y / x_p$$

เมื่อ

y คือ อัตราส่วนการไหลของการเคลื่อนที่

x_p คือ ระดับความอิ่มตัวสูงสุดที่ยอมรับในการใช้งาน

สำหรับจุดมุ่งหมายในการใช้งานโดยทั่วไปใช้ x_p เท่ากับ 0.9 และค่าของ x_p ที่แตกต่างกันสามารถใช้กับการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันได้

2 การกำหนดการเคลื่อนที่วิกฤต

วิธีการในการค้นหาการเคลื่อนที่ที่วิกฤติ อยู่บนพื้นฐานของการเปรียบเทียบค่าเวลาที่ต้องการของการเคลื่อนที่ (t) ถ้าทุก ๆ การเคลื่อนที่เป็น Non-Overlap Movements นั่นคือได้รับสิทธิในเขตทาง (สัญญาณไฟเขียว) ในระหว่างหนึ่งจังหวะสัญญาณเท่านั้น วิธีการในการหาการเคลื่อนที่ที่วิกฤติจะไม่มีความยุ่งยากซับซ้อนแต่ถ้ามีการเคลื่อนที่เป็น Overlap Movements วิธีการในการหาจะมีความยุ่งยากมากขึ้น

ก. เมื่อการเคลื่อนที่ทั้งหมดเป็น Non-Overlap Movements

การเคลื่อนที่วิกฤติก็คือการระยะเวลายาวนานที่สุด(t) ในจังหวะสัญญาณนั้น โดยถ้าการเคลื่อนที่ทั้งหมดมีค่าเวลาสูญเปล่าเท่ากันและสมมุติให้มีค่าระดับความอิ่มตัวเท่ากันแล้ว ก็สามารถที่จะระบุการเคลื่อนที่ที่วิกฤติได้จากการเคลื่อนที่ซึ่งมีค่าอัตราส่วนการไหล

(y) มากที่สุด และถ้าปริมาณการจราจรอิ่มตัว รวมทั้งเวลาสูญเปล่าของทุกการเคลื่อนที่ในจังหวะสัญญาณมีค่าเหมือนกัน ก็สามารถที่จะระบุการเคลื่อนที่ที่วิกฤติได้จากการเคลื่อนที่ซึ่งมีอัตราการไหลสูงสุด (q)

ข เมื่อการเคลื่อนที่เป็น Overlap Movements

จากสมการ $t = g+l = I+G = \sum (I+G)$ แสดงให้เห็นว่าเวลาของการเคลื่อนที่ประกอบด้วยเวลาไฟเขียว และเวลาระหว่างไฟเขียวของทุกจังหวะสัญญาณ ในระหว่างที่ได้รับสิทธิในเขตทาง (สัญญาณไฟเขียว) สำหรับเวลาของการเคลื่อนที่ที่เป็น Overlap Movements จะต้องมีการเปรียบเทียบกับผลรวมของค่าเวลาของการเคลื่อนที่ที่เป็น Non-Overlap Movements ด้วย การเคลื่อนที่ที่เป็น Overlap Movement จะเป็นการเคลื่อนที่ที่วิกฤติ ถ้าค่าเวลา (t) มีค่ามากกว่า ถ้าไม่เช่นนั้น การเคลื่อนที่ที่เป็น Non-Overlap Movement ที่จังหวะสัญญาณไฟที่ตรงกัน จะเป็นการเคลื่อนที่ที่วิกฤติ

3.5.3 ปริมาณการจราจรอิ่มตัว (Saturation Flows)

ปริมาณการจราจรอิ่มตัวเป็นตัวแปรตัวเดียวที่มีความสำคัญมากที่สุดในการวิเคราะห์ความจุ และค่าเวลาของทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจากแบบจำลองพื้นฐาน (ภาพประกอบ 3.4) สามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณการจราจรอิ่มตัวก็คือ อัตราการเคลื่อนที่ออกไปสูงสุดอย่างคงที่ของยานพาหนะจากคิวในระหว่างช่วงเวลาไฟเขียว และเนื่องจากแนวคิดของค่าเวลาสูญเปล่าได้รวมอยู่ในแนวคิดของปริมาณการจราจรอิ่มตัวด้วย ดังนั้น ความสำเร็จของการออกแบบสัญญาณไฟจึงขึ้นอยู่กับความถูกต้องของการใช้ค่าตัวแปรทั้งสองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าปริมาณการจราจรอิ่มตัว ประกอบด้วย สภาพแวดล้อม (Environment Class) ซึ่งสามารถอธิบายได้จากระดับของการแทรกแทรงหรือการกีดขวางที่มีต่อการเคลื่อนที่อย่างอิสระของยวดยาน ลักษณะของช่องจราจร (Lane Type) ซึ่งสามารถอธิบายได้จากลักษณะการเลี้ยวของยวดยาน ความกว้างของช่องจราจร (Lane Width) ความลาดชัน (Gradient) และองค์ประกอบของการจราจร (Traffic Composition) นอกจากนั้นแล้ว กรณีของช่องจราจรที่ต่ำกว่าระดับของการใช้ประโยชน์ (Lane Under-Utilisation) และกรณีของ Short Lane (ช่องจราจรซึ่งมีความยาวจำกัด หรือกรณีที่มีการจอดรถบนด้านที่เข้าสู่ทางแยก) ก็มีอิทธิพลต่อค่าปริมาณการจราจรอิ่มตัว