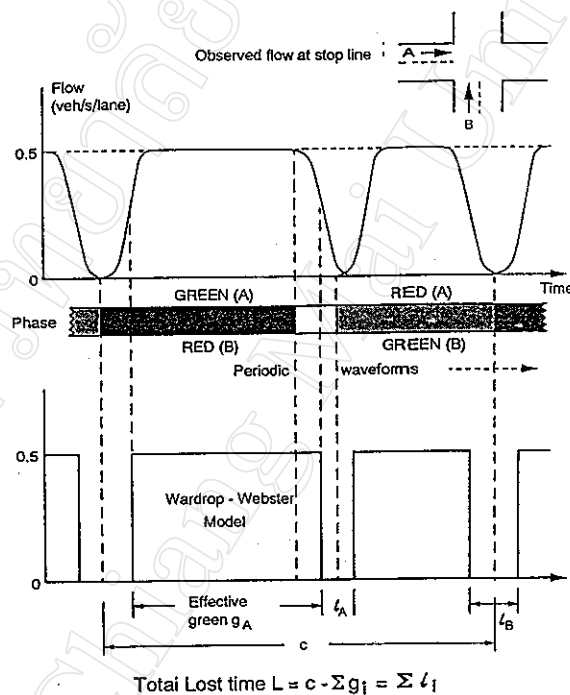


บทที่ 2

ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย

2.1 ทฤษฎีออกแบบเวลาสัญญาณไฟจราจรทางแยกเดี่ยว

ในช่วงปี ค.ศ. 1950 แบบจำลองของ Wardrop-webster ได้ถูกพัฒนาและเสนอขึ้นใน อังกฤษ เป็นการใช้อนุกรมการคำนวณเวลาสัญญาณไฟของทางแยก (MICHAEL A P TAYLOR et., al., 1996) ตัวอย่างพื้นฐานของแบบจำลองที่ใช้เป็นสี่แยกที่ถูกควบคุมสัญญาณไฟ 2 จังหวะ (stage) ทิศทางการจราจรจาก เหนือ-ใต้ ตัดกับ ตะวันตก-ตะวันออก แสดงดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงแบบจำลองพื้นฐานการคำนวณเวลาสัญญาณไฟจราจร

Webster ได้เสนอแนะว่าสำหรับปริมาณจราจรจากการสังเกตที่มาถึงทางแยกจากรูปบน สามารถอนุโลมเขียนแทนเป็นรูปสี่เหลี่ยมได้ดังรูปปริมาณจราจร - เวลา ดังแสดงรูปล่าง พื้นที่ของสี่เหลี่ยมมีค่าเท่ากับพื้นที่ของรูปที่ได้จากการสังเกต จังหวะสัญญาณไฟจราจรมี 2 จังหวะ คือ A จากตะวันตกไปตะวันออกและ B จากใต้ไปเหนือ ส่วนสูงของสี่เหลี่ยมคือ กระแสจราจรอิ่มตัว (Saturation flow - s) ส่วนกว้างคือ เวลาไฟเขียวประสิทธิภาพ (Effective Green Time - g) ค่าเวลาไฟเขียวประสิทธิภาพของที่เห็นในรูปล่างจะไม่แสดงออกมาในเวลาครบรอบสัญญาณ (c) ส่วน

ค่าสูญเสียเวลา (Lost Time) เป็นเวลาที่เสียไปจากการเปลี่ยนจังหวะเพื่อให้ทุกจังหวะทางแยกหยุดเพื่อให้รถในทางแยกโล่งก่อนจะเป็นจังหวะเขียวต่อไป รูป 2.1 มี 2 จังหวะจะได้ $L_A + L_B$ เวลาในการสูญเสียเวลาทั้งหมด (L) เป็นค่าที่สำคัญสำหรับทางแยก แสดงความสัมพันธ์ดังนี้

$$L = c - \sum_{i=1}^n g_i = \sum_{i=1}^n L \text{ (sec) } \text{ โดยที่ } i = \text{จำนวนจังหวะ} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\text{ความจุของการเคลื่อนที่ในทิศทางหนึ่ง (C)} = \frac{s_i g_i}{c} = s_i u_i \dots\dots\dots 2.2)$$

โดยที่

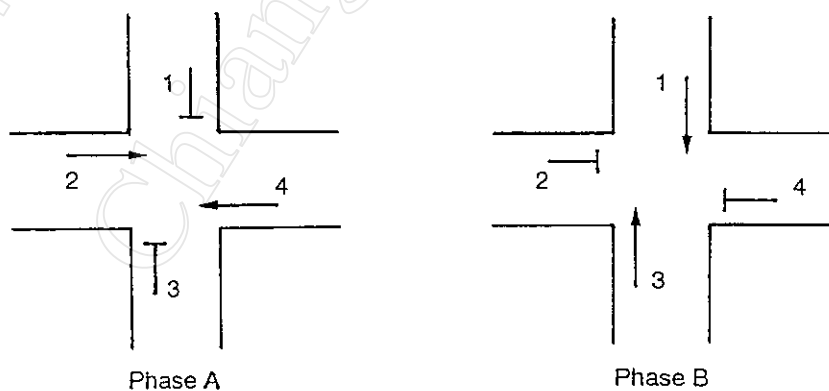
s_i = กระแสจราจรอ้อมตัวที่ i

g_i = เวลาไฟเขียวประสิทธิภาพ i

c = เวลาครบรอบสัญญาณ

u_i = อัตราส่วน $\frac{g_i}{c}$

เงื่อนไขของการคำนวณ $C_i = s_i g_i \geq q_i c$ โดยที่ q_i = อัตราปริมาณจราจรเข้าสู่ทางแยก i



รูปที่ 2.2 แสดงแบบจำลองการออกแบบเวลาสัญญาณไฟจราจร

พิจารณารูป 2.2 ซึ่งใช้ในการเป็นแบบจำลองอธิบายการออกแบบเวลาสัญญาณไฟจราจรของทางแยกประกอบด้วย 2 จังหวะ คือ A และ B จังหวะ A ประกอบด้วย Link 2 (ตะวันตกไปตะวันออก) และ Link 4 (ตะวันออกไปตะวันตก) ได้สิทธิไฟเขียวในการผ่านทางแยก จังหวะ B ประกอบด้วย Link 1 (ทิศเหนือไปทิศใต้) และ Link 3 (ทิศใต้ไปทิศเหนือ) ได้สิทธิไฟเขียวในการผ่านทางแยก เราสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{จังหวะ A} \quad s_2 g_{24} \geq q_2 c \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

$$s_4 g_{24} \geq q_4 c \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\text{จังหวะ B} \quad s_1 g_{13} \geq q_1 c \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

$$s_3 g_{13} \geq q_3 c \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

แสดงในรูปเวลาครบรอบสัญญาณไฟได้ดังนี้

$$c = g_{13} + g_{24} + L \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

ให้ $y_i = q_i / s_i$ เขียนสมการรูปใหม่ได้ดังนี้

$$u_A = \frac{g_{24}}{c} \geq y_2 \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

$$u_A = \frac{g_{42}}{c} \geq y_4 \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

ทำนองเดียวกัน

$$u_B = \frac{g_{13}}{c} \geq y_1 \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

$$u_B = \frac{g_{31}}{c} \geq y_3 \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

ในทางเลือกเราจะเลือกว่า y ที่มากที่สุดเป็นค่าวิกฤติในจังหวะนั้น เช่น $y_B = \text{MAX}$
 $\{y_1, y_3\}$

$$Y = y_A + y_B \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\frac{g_A}{g_B} = \frac{y_A}{y_B} \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

จากสมการ (2.7), (2.12), (2.13) ได้

$$g_A = \frac{(y_A) \times (c - L)}{Y} \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

$$g_B = \frac{(y_B) \times (c - L)}{Y} \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

ถ้ามี n เฟส ก็สามารถ derive สูตรได้

$$g_n = \frac{(y_n) \times (c - L)}{Y} \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

$$c = g_{13} + g_{24} + L \geq L + c (y_A + y_B) \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

จัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$c \geq \frac{L}{1 - (y_A + y_B)} \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

ในกรณีที่เรามี n จังหวะรูปทั่วไปเขียนได้ดังนี้

$$c \geq \frac{L}{1 - \sum_{i=1}^n y_i} = \frac{L}{1 - Y} \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

จะเห็นว่า $Y \leq 1$ มิฉะนั้นเราจะหาค่าเวลาครบรอบสัญญาณไฟไม่ได้ ในทางปฏิบัติจะใช้งาน โดย ให้ค่า $Y \leq 0.75$ เพื่อให้ทางแยกไม่แออัดและอยู่ในระดับน่าพอใจ

2.1.1 วิธีออกแบบเวลาสัญญาณไฟจราจรของ U.S. Highway Capacity

เป็นวิธีออกแบบเวลาสัญญาณไฟจราจรที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อมีความล่าช้าเฉลี่ยต่อกันของ Link หรือทางแยกน้อยที่สุดและนำไปแปรผลเป็นค่าระดับบริการ การวิเคราะห์คำนวณแสดงเป็นสูตรการคำนวณดังนี้ (Highway Capacity Manual, 1985)

$$c = LX_c / \left[X_c - \sum_i (v/s)_{ci} \right] \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

$$g_i = \frac{v_i c}{s_i X_i} \quad \dots\dots\dots(2.21)$$

$$s = s_o N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{RT} f_{LT} \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

$$C_i = s_i * (g/c) \quad \dots\dots\dots(2.23)$$

$$X_i = \frac{v_i}{C_i} = \frac{v_i c}{s_i g_i} \quad \dots\dots\dots(2.24)$$

หลังจากทราบเวลาสัญญาณไฟจราจร ทำการตรวจสอบหาค่าระดับบริการโดยทราบผลจากการหาค่าเวลาเฉลี่ยความล่าช้าต่อกัน จากสูตรการคำนวณดังนี้

$$d = 0.38c \frac{[1 - g/c]^2}{[1 - (g/c)(X)]} + 173X^2 \left[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + (16X/C)} \right] \quad \dots\dots(2.25)$$

โดยที่

s = กระแสจราจรอิ่มตัว (คันต่อชั่วโมง)

s_o = กระแสจราจรอิ่มตัวอุดมคติ (คันต่อชั่วโมง)

N = จำนวนเลน

f_w = แฟกเตอร์ปรับแต่งความกว้างเลน

f_{HV} = แฟกเตอร์ปรับแต่งสำหรับรถบรรทุกหนัก

f_g = แฟกเตอร์ปรับแต่งสำหรับความชัน

f_p = แฟกเตอร์ปรับแต่งสำหรับการจอดรถอยู่ใกล้ ๆ

f_{bb} = แฟกเตอร์ปรับแต่งสำหรับการกีดขวางที่จอดรถประจำทาง

f_a = แฟกเตอร์ปรับแต่งสำหรับลักษณะพื้นที่

f_{RT} = แฟกเตอร์ปรับแต่งสำหรับรถเลี้ยวขวา

f_{LT} = แฟกเตอร์ปรับแต่งสำหรับรถเลี้ยวซ้าย

C_i = ความจุ Link i (คันต่อชั่วโมง)

s_i = กระแสจราจรอิ่มตัว Link i (คันต่อชั่วโมง)

g_i = เวลาไฟเขียวประสิทธิภาพ Link i (วินาที)

L = ค่าสูญเสียเวลาทั้งหมดต่อรอบสัญญาณไฟ (วินาที)

c = เวลาครบรอบสัญญาณไฟ (วินาที)

v_i = ปริมาณจราจร Link i (คันต่อชั่วโมง)

X_i = Degree of Saturation Link i (%)

X_c = ค่า Degree of Saturation วิกฤติ มีค่าน้อยกว่า 1 (%)

d = ความล่าช้าเฉลี่ยต่อคัน (วินาทีต่อชั่วโมง)

2.1.2 วิธีออกแบบเวลาสัญญาณไฟจราจรของ British TRRL

Transport and Road Research Laboratory (TRRL) ได้ศึกษาพฤติกรรมที่บริเวณทางแยก การศึกษาได้ผลออกมาสำหรับหาค่าเวลาครบรอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมและค่าอัตราส่วนเวลาไฟเขียวต่อเวลาครบรอบสัญญาณไฟรวมทั้ง ค่าความจุ ความล่าช้า และระดับบริการ สูตรการคำนวณแสดงได้ดังนี้

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} \quad \dots\dots\dots(2.26)$$

$$g_1 = \frac{Y_1}{Y} (C_0 - L) \quad \dots\dots\dots(2.27)$$

$$g_2 = \frac{Y_2}{Y} (C_0 - L) \quad \dots\dots\dots(2.28)$$

โดยที่ C_0 = เวลาครบรอบสัญญาณไฟที่เหมาะสม (วินาที)
 L = ค่าสูญเสียเวลาทั้งหมดต่อรอบสัญญาณไฟ (วินาที)
 Y = ผลบวกทั้งหมดของค่าอัตราส่วนปริมาณจราจรต่อค่ากระแสจราจรอิ่มตัว
 g_1, g_2 = เวลาไฟเขียวประสิทธิภาพของจังหวะ 1 และ 2 (วินาที)
 y_1, y_2 = อัตราส่วนวิกฤติของปริมาณจราจรต่อค่ากระแสจราจรอิ่มตัวจังหวะ 1 และ 2

ได้มีการทบทวนทฤษฎีออกแบบเวลาสัญญาณไฟจราจรสำหรับทางแยกเดี่ยว ซึ่งได้พัฒนาโดยหน่วยงานในประเทศต่าง ๆ ดังนี้ (Adolf D. May, 1974)

2.1.3 วิธีออกแบบสัญญาณไฟจราจรของ Australia Road Capacity

Australia Road Research Board เป็นหน่วยงานที่ทำการวิจัยเพื่อการออกแบบหาค่าเวลาสัญญาณไฟจราจรและพัฒนาเป็นคู่มือออกแบบสำหรับใช้ในประเทศออสเตรเลีย การคำนวณหาค่าเวลาที่เหมาะสมของเวลาครบรอบสัญญาณไฟจราจร โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ค่าเฉลี่ยความล่าช้าต่อคันน้อยที่สุดในแต่ละ Link แสดงเป็นสมการการคำนวณได้ดังนี้

$$c = \frac{L + 2.2\sqrt{L/S}}{1 - Y} \quad \dots\dots\dots(2.29)$$

$$d = \frac{c - g}{2c(1 - y)} \left[\frac{2}{q} * E(z) + (c - g) \right] \quad \dots\dots\dots(2.30)$$

$$\text{โดยที่ } E(z) = \frac{\exp(-1.33\phi)}{2(1 - x)}$$

$$\phi = \frac{1 - x}{x} \sqrt{sg}$$

s = กระแสจราจรอิ่มตัว (คันต่อชั่วโมง)

g = ค่าเฉลี่ยไฟเขียวประสิทธิภาพ (วินาที)

c = ค่าเฉลี่ยเวลาครบรอบสัญญาณไฟ (วินาที)

$y = \frac{q}{s}$ = อัตราส่วนปริมาณจราจรที่มาถึงต่อกระแสจราจรอิ่มตัว

$$x = \frac{q_c}{sg} = \text{Degree of Saturation (\%)}$$

$$L = \text{ผลรวมค่าสูญเสียเวลาทั้งหมดต่อรอบสัญญาณไฟจราจร (วินาที)}$$

$$d = \text{ค่าเฉลี่ยความล่าช้าต่อคัน (วินาทีต่อชั่วโมง)}$$

$$E(z) = \text{จำนวนเฉลี่ยของรถเสียช้าในคิวขณะสัญญาณไฟเปลี่ยนเป็นแดง}$$

2.1.4 วิธีออกแบบเวลาสัญญาณไฟจราจรของ Texas A and M

เป็นวิธีการออกแบบเวลาสัญญาณไฟจราจรซึ่งเป็นวิธีที่บางครั้งเรียกว่า Failure Rate Method ได้ถูกพัฒนาโดยหน่วยงาน Texas Transportation Institute ตั้งอยู่ที่ Texas A และ M วิธีนี้จะให้ความสัมพันธ์ของระดับบริการกับอัตราวิบัติ (Failure Rate) และค่าเฉลี่ยความล่าช้า สูตรสมการคำนวณเวลาสัญญาณไฟแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$C = \frac{3600\phi(K - D)}{3600 - D(EV)} \quad \dots\dots\dots(2.31)$$

โดยที่ C = เวลาครบรอบสัญญาณไฟจราจรต่ำสุด (วินาที)

ϕ = จำนวนเฟส

$K = k_1 + k_2$ (Starting Delay บวกเวลาที่รถคันสุดท้ายข้ามพ้นทางแยก)
(วินาที)

D = ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของระยะห่างระหว่างคัน (วินาที)

EV = ผลรวมของปริมาณจราจร Link วิกฤติทุกเฟส (คันต่อชั่วโมง)

2.1.5 วิธีออกแบบเวลาสัญญาณไฟจราจรของ Allsop

Allsop ได้ทำวิทยานิพนธ์ที่มหาวิทยาลัยในลอนดอน โดยพัฒนาหาเวลาสัญญาณไฟจราจรจากการที่มีจุดมุ่งหมายให้ได้ความล่าช้าสำหรับปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกของยานพาหนะทุกคันน้อยที่สุดเป็นวิธีที่คล้ายกับ TRRL แต่สามารถที่จะแก้จุดด้อยของวิธีแรกได้ สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$\text{Minimize } D = \sum_{j=1}^n q_j d_j \quad \dots\dots\dots(2.32)$$

โดยที่ D = ความล่าช้าทั้งหมดต่อหน่วยเวลา (วินาทีต่อชั่วโมง)

q = ค่าเฉลี่ยอัตราการมาถึงของกระแสจราจร (คันต่อชั่วโมง)

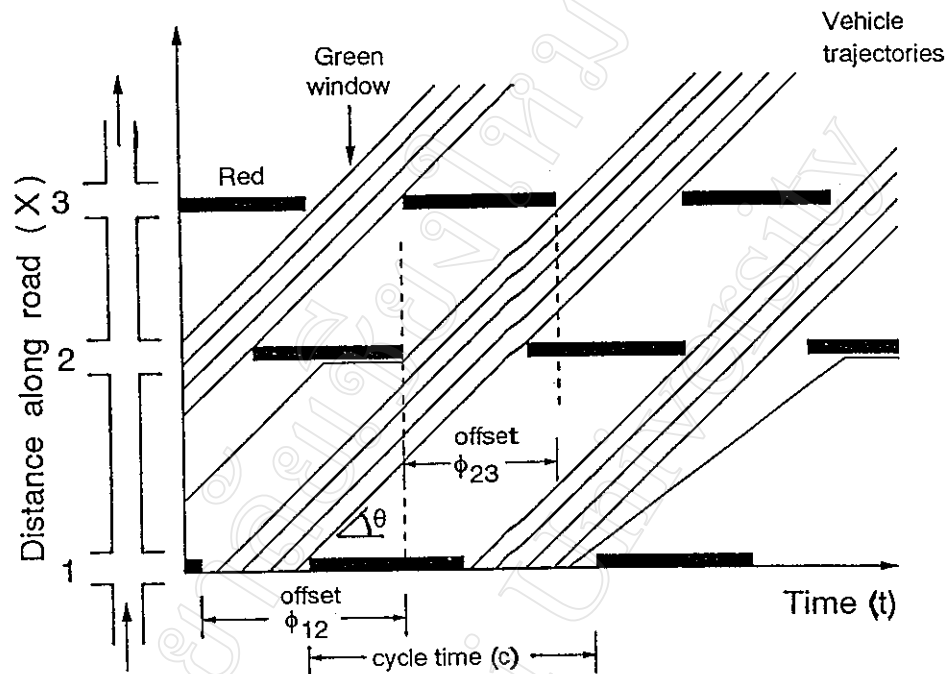
d = ค่าปรับแก้ค่าเฉลี่ยความล่าช้าต่อคันได้จากสมการความล่าช้าของ Webster

n = จำนวนของ Link ที่มาถึง

โดยมีข้อจำกัดว่า ผลรวมของจังหวะไฟเขียวกับเวลาที่สูญเสียต้องเท่ากับเวลาครบรอบสัญญาณไฟ และความจุแต่ละ Link ที่มาถึงจะต้องเท่ากับหรือมากกว่าค่าเฉลี่ยอัตราการมาถึง ค่าสูงสุดเวลาครบรอบสัญญาณ และ ค่าต่ำสุดจังหวะไฟเขียว

2.2 ทฤษฎีออกแบบเวลาสัญญาณไฟจราจรเป็นพื้นที่

ระบบควบคุมการจราจรในสมัยใหม่พยายามที่จะให้การไหลของปริมาณจราจรในสายหลักไหลไปอย่างต่อเนื่องโดยไม่ติดขัดให้มีการหยุดและความล่าช้าน้อยที่สุด (Taylor M. et.al., 1996) การนำเอาทางแยกที่อยู่ใกล้กันในแนวเดียวกันของปริมาณจราจรมาตั้งเวลาในคู่ลำดับร่วมกัน เพื่อการเปิดเวลาสัญญาณไฟจราจรให้สัมพันธ์กันจึงถูกนำมาใช้ ยิ่งไปกว่านั้นการเปิดสัญญาณไฟจราจรให้ปริมาณจราจรในทิศทางหลักผ่านไปอย่างต่อเนื่องแล้วนั้น ยังสามารถป้องกันคิวของปริมาณจราจรที่จะเกิดติดยาวจนไปถึงแยกที่อยู่ติดกันได้ด้วยพื้นฐานของการนำระบบสัญญาณไฟจราจรมาเปิดใช้ร่วมกันของทางแยกใกล้กัน แสดงดังรูป 2.3 กลุ่มของยานพาหนะมีจุดมุ่งหมายที่จะพยายามวิ่งผ่านทางแยกแรกเพื่อที่จะไปถึงยังทางแยกข้างหน้าให้ได้ไฟเขียวผ่านไป (Green Window) สำหรับปริมาณจราจรที่ผ่านไฟเขียวแรกมาแล้ว สัญญาณไฟแยกที่ 2 จะเปิดไฟเขียวให้หลังจากเวลาเขียวแรกที่ 1 เท่ากับ ϕ_{12} ซึ่งเราเรียกว่าระยะเวลาเลื่อนกันของทางแยก (Offset) ในระบบจะมีค่าเวลารอบสัญญาณคงที่ในทุกทางแยกโดยมีค่าวิกฤติจากทางแยกที่เป็นตัวหลักมาใช้ร่วมกันทั้งหมด เวลาไฟเขียวสำหรับทุกทางแยกถูกให้ไว้สำหรับทุกทางแยกเพื่อให้เพียงพอต่อความจุและกลุ่มยานพาหนะผ่านไปได้อย่างต่อเนื่อง ค่าความเร็วในการวิ่งผ่าน (Cruise Speed) $\tan \theta$ = ระยะทาง/เวลา เป็นค่าที่ต้องถูกใช้พิจารณากำหนดในการออกแบบ



รูปที่ 2.3 แสดงการเปิดไฟเขียวสัมพันธ์กันของหลายทางแยก

ได้มีการทบทวนทฤษฎีออกแบบเวลาสัญญาณไฟจราจรเป็นพื้นที่ ซึ่งได้พัฒนาโดยหน่วยงานในประเทศต่าง ๆ ดังนี้ (Adolf D. May, 1974)

2.2.1 วิธีของ Morgan and Little Band Width

วิธีนี้ออกแบบเพื่อหาค่าเวลาเหลื่อมกันของถนนสายหลักที่ทำให้ได้ช่วงความกว้างไฟเขียวมีค่าสูงสุด (Maximizing the Green Band Width) ระบบสามารถที่จะออกแบบให้ได้ความกว้างไฟเขียวเท่ากันทั้ง 2 ทิศทาง (เข้า – ออก) ได้ หรือให้ทิศทางใดทิศทางหนึ่งมีความกว้างไฟเขียวมากกว่าได้

2.2.2 วิธีของ Bleyl

Bleyl ได้พัฒนาวิธีสำหรับออกแบบแผนเวลาสัญญาณไฟจราจรเพื่อการไหลต่อเนื่องของกระแสจราจรโดยพิจารณาเวลาเหลื่อมกัน เวลาครอบรอบสัญญาณไฟซึ่งทำให้ได้ความกว้างไฟเขียวมากที่สุด วิธีนี้ต่างจากการใช้ไดอะแกรมเวลา-ระยะทางระหว่างทางแยก (Time - Space Diagram) โดยเปลี่ยนระยะทางระหว่างทางแยกเป็นเวลาในการเดินทางซึ่งเรียกว่า ไดอะแกรมเวลา-เวลาการเดินทาง

ผู้ใช้จะต้องกำหนดลักษณะที่แน่นอนสำหรับ (1) แต่ละสัญญาณไฟจราจร (2) แต่ละทิศทางเชื่อมระหว่างสัญญาณไฟจราจร และ (3) ระบบทั้งหมด สำหรับแต่ละสัญญาณไฟจราจรต้องกำหนดเฟส เวลาสำหรับผู้ใช้ทางข้าม และเวลาในการเคลียร์ทางแยก สำหรับแต่ละทิศทางเชื่อมระหว่างสัญญาณไฟจราจรต้องกำหนด ระยะทางการเดินทางและความเร็วของกระแสจราจร สำหรับระบบทั้งหมดต้องกำหนดจำนวนสัญญาณไฟจราจร ค่าต่ำสุดและสูงสุดของเวลาครอบรอบสัญญาณไฟ แนะนำช่วงค่าความเร็วสูงสุดและสัดส่วนความกว้างไฟเขียว (เข้า-ออก)

2.2.3 วิธีของ Delay-Difference of Offset

วิธี Delay-Difference of Offset ถูกเสนอครั้งแรกโดย Whiting และเผยแพร่โดย Hillier ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการทำโครงการวิจัยที่เมือง Glasgow ขบวนการพื้นฐานคือ พิจารณาความล่าช้าสำหรับแต่ละทางเชื่อมสำหรับหลากหลายเวลาเหลื่อมกันที่เป็นไปได้และต่อมาเลือกเวลาเหลื่อมกันระหว่างทางแยก ระหว่างคู่ของทางแยกซึ่งมีค่าความล่าช้าทั้ง 2 ทิศทางต่ำสุด ดำเนินการแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้ระยะเวลาเหลื่อมกันระหว่างทางแยกทุกคู่ วิธีการนี้สมมติว่าทราบเวลาในแต่ละเฟส และเวลาครอบรอบสัญญาณไฟ

2.2.4 วิธีของ Brook

Brook ได้พัฒนาวิธีสำหรับคำนวณระยะเวลาเหลื่อมกันระหว่างทางแยกซึ่งให้ค่าประโยชน์สูงสุดของความกว้างไฟเขียวสำหรับค่าที่ได้ของเวลาครอบรอบสัญญาณไฟจราจร เวลาในแต่ละ Link และความเร็ว วิธีนี้พัฒนาขึ้นเพื่อที่จะลดความซับซ้อนของจำนวนที่มารวมกัน

ผู้ใช้ต้องกำหนด (1) ระยะทางระหว่างทางแยก (2) เปอร์เซนต์ของเวลาครอบรอบสัญญาณไฟจราจร ซึ่งคือไฟเขียวแต่ละทางแยก (3) ช่วงของความเร็ว และ (4) ช่วงของเวลาครอบ

รอบสัญญาณไฟจราจร ระยะเวลาเหลื่อมกันของทางแยกถูกคำนวณเพื่อที่จะหาค่าความกว้างไฟเขียวสูงสุด

2.3 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์และออกแบบสัญญาณไฟ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบพื้นที่ สามารถทำได้ โดยใช้เทคนิคของการเลียนแบบจราจร (Traffic Simulation) เทคนิคการเลียนแบบจราจรที่ใช้ อาจ ใช้การเลียนแบบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะแบบ Microscopic หรือ แบบ Macroscopic ได้มีการ ใช้ทฤษฎีการเลียนแบบมาสร้างเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ปัญหา แบบซับซ้อน เช่น โปรแกรม NETSIM ซึ่งจำลองการเคลื่อนที่การจราจรแบบ Microscopic และ โปรแกรม TRANSYT ซึ่งจำลองการเคลื่อนที่แบบ Macroscopic โปรแกรม TRANSYT เป็นที่นิยม สูงมาก สามารถใช้ได้ทั้งการออกแบบเวลาสัญญาณไฟ และ วิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ กรณีที่ทราบเวลาสัญญาณไฟ

ในการนำโปรแกรม TRANSYT มาประยุกต์เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของระบบควบคุมสัญญาณไฟจำเป็นต้องทราบค่าตัวแปร ที่สำคัญ เช่น อัตราการปล่อยกระแสจราจรอิมตัวของทางแยก (Saturation flow rate) ค่าพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์หาค่า Performance Index (P.I.)

2.3.1 การหาค่ากระแสจราจรอิมตัวของทางแยก

การหาค่าความจุเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของการคำนวณเวลาสัญญาณไฟจราจร ค่าความจุของการปล่อยกระแสจราจรในแต่ละ Link ของทางแยกมีหน่วยเป็น คันต่อชั่วโมงของเวลาไฟเขียวขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น กายภาพของทางแยก(โดยเฉพาะอย่างยิ่งความกว้างของเลน) ปริมาณของรถเลี้ยวขวา รถบรรทุกหนักที่ร่วมอยู่ในกระแสจราจร ความชัน หรือ รถที่จอดอยู่บริเวณทางแยก เป็นต้น

WEBSTER and B.M. (1966) วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าความจุออกมาในรูปของความกว้างของเลน โดยใช้สมมติฐานว่าไม่มีรถเลี้ยวขวาอยู่ในกระแสจราจรและไม่มีรถจอดอยู่บริเวณทางแยก การศึกษาพบว่า 100 ทางแยกซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ได้ค่าความสัมพันธ์ออกมาเป็นสมการดังนี้

$$s = 160 * w \quad \text{คัน / ชั่วโมง} \quad \dots\dots\dots(2.33)$$

โดยที่ w = ความกว้างของเลนมีหน่วยเป็นฟุต

ในกรณีที่ปริมาณการจราจรของรถเลี้ยวขวาร่วมอยู่ด้วยไม่ว่าจะเป็นกระแสจราจรจากทิศทางตรงกันข้ามซึ่งทำให้เกิดการขัดจังหวะ หรืออยู่ในทิศทางเดียวกันทั้งมีเลนแยกต่างหากหรือไม่มี จะทำให้การคิดค่าความจุต้องนำมาพิจารณาอย่างรอบคอบ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 กรณี

1. ไม่มีกระแสจราจรขัดจังหวะในทิศทางตรงกันข้าม และไม่มีเลนแยกต่างหากเฉพาะเลี้ยวขวา ค่าความจุหาได้จากสมการความสัมพันธ์ที่ขึ้นอยู่กับความกว้างของเลน(ไม่คำนึงถึงรถเลี้ยวขวา)

ในกรณีที่ในช่องจราจรมีทั้งทิศทางการจราจรไปตรงกับเลี้ยวขวาผสมกันอยู่จะสามารถหาค่าความจุของแต่ละทิศทางโดยใช้สมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$s_{\text{ตรง}} + s_{\text{ขวา}} = s_{\text{รวม}} \quad \dots\dots\dots(2.34)$$

$$q_{\text{ตรง}} / s_{\text{ตรง}} = q_{\text{ขวา}} / s_{\text{ขวา}} \quad \dots\dots\dots(2.35)$$

2. ไม่มีกระแสจราจรขัดจังหวะในทิศทางตรงกันข้าม มีเลนแยกต่างหากเฉพาะเลี้ยวขวา ค่าความจุของเลนเลี้ยวขวาจะหาออกมาได้ต่างหากขึ้นอยู่กับรัศมีของการเลี้ยว มีค่าความสัมพันธ์ของสมการดังนี้

$$s = \frac{1800}{1 + 5/r} \quad \text{คัน / ชั่วโมง} \quad \text{สำหรับเลนเดี่ยว} \quad \dots\dots\dots(2.36)$$

$$\text{และ } s = \frac{3000}{1 + 5/r} \quad \text{คัน / ชั่วโมง} \quad \text{สำหรับเลนคู่} \quad \dots\dots\dots(2.37)$$

โดยที่ r = รัศมีของการเลี้ยวมีหน่วยเป็น ฟุต

3. มีกระแสจราจรขัดจังหวะในทิศทางตรงกันข้าม และไม่มีเลนแยกต่างหากเฉพาะเลี้ยวขวา ผลของรถเลี้ยวขวาภายใต้สภาพนี้มีอยู่ 3 แบบ

ก. แบบแรก เพราะว่ามีกระแสจากรัดจั้งหะในทิศตรงข้ามกระแสจากรจะ
จะล่าช้าด้วยตัวเอง และ ล่าช้าจากรถที่ไม่เลี้ยวในกระแสจากรเดียวกัน

ข. แบบที่สอง กระแสจากรมีแนวโน้มนั้จะถูกยับยั้งจากการใช้ถนนของรถ
ทางตรง ที่ล้าเข้ามาบ้าง เนื่องจากการที่รถทางตรงด้านตรงข้ามไม่ต้องการที่จะล่าช้า

ค. แบบที่สาม กระแสการจากรเลี้ยวขวายังคงคาอยู่ทีทางแยกหลังจากหมด
สัญญาณไฟเขียวหลังจากกระแสการจากรในทิศทางตรงข้ามหมดจึงสามารถไปได้ ทำให้เกิดการ
เสียเวลากับรถในจั้งหะต่อมา

ค่า Passenger Car Unit Equivalent ของรถทิศทางเลี้ยวขวาแบบแรก และ แบบที่
สองมีค่าเท่ากับ 1.75 เท่าของปริมาณการจากรในทิศทางตรง ในกรณีของแบบที่ 3 ก่อนข้างขับ
ขึ้น กระแสการจากรของรถเลี้ยวขวาจะผ่านมาได้ต้องมีช่องว่างของเวลาพอดี ของกระแสการ
จากรด้านตรงข้ามที่พอแทรกเข้าไปได้ จากการสังเกตได้ค่าประมาณ 5-6 วินาที

ความจุของรถในทิศทางเลี้ยวขวาสามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$n_r = s_r \left(\frac{g_s - q_c}{s - q} \right) \quad \dots\dots\dots(2.38)$$

โดยที่ n_r = จำนวนยานพาหนะสูงสุดที่เลี้ยวขวา คัน / รอบ

s_r = กระแสจากรมากทีสุดในช่องยานพาหนะเลี้ยวขวาตามทฤษฎีที่สามารถ
แทรกผ่านช่องว่างระหว่างคันของกระแสจากรด้านตรงข้าม

q = กระแสจากรในทิศตรงข้าม (คิดเฉพาะรถเลนตรง)

s = ค่ากระแสจอรอ้มตัวในทิศตรงข้าม

g = เวลาไฟเขียว

c = เวลาครบรอบสัญญาณไฟ

4. มีกระแสจากรรัดจั้งหะในทิศตรงข้าม มีเลนแยกเฉพาะรถเลี้ยวขวา จะไม่มี
ความล่าช้าของรถที่วิ่งทางตรง แต่จะมีผลกับรถในทิศทางที่ตัดกัน และการคำนวณหาค่าความจุก็
จะคำนวณหาเหมือนกับแบบที่สาม

2.4 อัตราการปล่อยกระแสจราจรอิ่มตัวแบบอุดมคติ (Ideal Saturation Flow)

Highway Capacity Manual (1985) ซึ่งเป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์ความจุทางหลวงของสหรัฐอเมริกาแนะนำให้ใช้ค่าอัตราการปล่อยกระแสจราจรอิ่มตัวแบบอุดมคติ เท่ากับ 1800 pcu./hr./lane สำหรับในอังกฤษ ใช้สมการของค่า Ideal Saturation Flow เป็น $s = 160 * w$ (w มีหน่วยเป็นฟุต) ซึ่งที่ความกว้างเลนเท่ากับ 12 ฟุต ใช้ค่า Ideal Saturation Flow เท่ากับ 1900 pcu./hr./lane

ในการศึกษาของกรมการขนส่ง ประเทศฮ่องกง (Transportation Research Board, 1985) พบว่ามีค่าเฉลี่ยอัตราการปล่อยกระแสจราจรอิ่มตัวเป็นคัน (pcu.) ต่อชั่วโมง เท่ากับ 2080 คันต่อชั่วโมง ไฟเขียวในช่องทางที่ไม่ใช่ช่องทางริมสุด (Non-Near Side Lane) และ เท่ากับ 1936 คันต่อชั่วโมง ในช่องทางริมสุด (Near Side Lane)

ในการศึกษาของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สมพงษ์, 2540) ซึ่งทำการศึกษาเลนตรง 3 เลน ได้ค่า กระแสจราจรอิ่มตัวเป็นคัน (pcu.) ต่อชั่วโมง เท่ากับ 2,011 คันต่อชั่วโมง 1,967 คันต่อชั่วโมง และ 1,936 คันต่อชั่วโมง และ ทำการศึกษาช่องทางเลี้ยวขวา 2 เลน ได้ค่าอัตราการปล่อย เท่ากับ 1846 และ 1926 คันต่อชั่วโมง

สำหรับการหาค่าความจุที่ใช้วิเคราะห์ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ค่าที่ศึกษาทางแยกของจังหวัดเชียงใหม่ (เอกนรินทร์, 2541) ซึ่งได้ค่าอัตราการปล่อยกระแสจราจรอิ่มตัวเขตในเมืองที่มีความกว้าง 12 ฟุต เป็นคัน (pcu.) ต่อชั่วโมง เท่ากับ 2,351 คันต่อชั่วโมง หรือ เขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$s = 196 * w \text{ คันต่อชั่วโมง} \dots\dots\dots(2.39)$$

โดยที่ w = ความกว้างของเลนมีหน่วยเป็นฟุต

$$\text{หรือ} \quad s = 643 * w \text{ คันต่อชั่วโมง} \dots\dots\dots(2.40)$$

โดยที่ w = ความกว้างของเลนมีหน่วยเป็นเมตร