บทที่ 3

การปรับปรุงแบบจำลองและพฤติกรรมการจราจร

ในการปรับปรุงแบบจำลอง Simulation ซึ่งดำเนินการในงานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงแบบจำลอง ประเภท Macro Analysis อาศัยแนวทางในการปรับปรุงมาจากแบบจำลอง TRANS (Traffic Network Simulation Model) โดยสมมุติการจราจรมีการไหลต่อเนื่องตามกันเป็นกลุ่ม ยกเว้นที่บริเวณทางแยก ซึ่งได้จำแนกย่อยออกเป็นคันบ้าง เป็นกลุ่มบ้าง ตามแต่พฤติกรรมของกลุ่มยวดยานในขณะนั้น แบบจำลองนี้แบ่งลักษณะของการจำลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นสภาพทางกายภาพ อันได้แก่ โครงข่ายของถนน คุณลักษณะทางกายภาพของถนน พื้นที่การเคลื่อนที่ และบริเวณทางแยก ในส่วนที่สอง อันได้แก่ ส่วนที่อธิบายคุณลักษณะของการจราจร และพฤติกรรมการจราจร ซึ่งเริ่มตั้งแต่การเข้าสู่ระบบ พฤติกรรมการจราจรบน Input Link พฤติกรรมการจราจรที่ทางแยก พฤติกรรมการจราจรที่ Network Link และพฤติกรรมการจราจรที่ Output Link พฤติกรรมที่สลับซับซ้อนที่สุดได้แก่ ที่บริเวณทางแยก

พฤติกรรมต่าง ๆ ของการจราจรโดยเฉพาะบน Link ได้รับการปรับปรุงขึ้นโดยอาศัยทฤษฎี Car Following และ Platoon Dispersion เป็นหลัก ส่วนพฤติกรรมการจราจรที่ทางแยกอาศัย Queueing Process ทั้งในลักษณะของการเคลื่อนเข้าไปหยุดที่ทางแยกและการออกตัวที่ทางแยก อนึ่ง พฤติกรรมหลายชนิดมิได้ศึกษาขึ้นโดยเฉพาะสอดคล้องกับพฤติกรรมของการจราจรภายในประเทศ เป็นแต่เพียงปรับปรุงและเก็บข้อมูลบางลักษณะเพื่อให้สามารถปรับปรุงเป็นพฤติกรรมได้ และใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองนี้

3.1 โครงสร้างของโครงข่ายถนน (Traffic Network)

โครงข่ายถนนประกอบด้วยกลุ่มของถนนชนิดต่าง ๆ ทั้งที่เป็นถนนสายหลักและสายรอง เชื่อมต่อกันระหว่างทางแยกสัญญาณไฟ (Signalized Intersection) ถนนแต่ละสายในโครงข่ายเรียกว่า Link ในบางกรณีบน Link จะมีกลุ่มยวดยานเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน (One Way) ซึ่งเป็น Link เดี่ยว (Single Link) หรือบางกรณี Link

จะมีกลุ่มยวดยานเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกันหรือสวนทางกัน (Two Way) ซึ่งเป็น Link คู่ (Two Distinct Link) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โครงข่ายของถนน Network และ Link มีความสำคัญมากในการจัดทำ Simulation ของสภาพการจราจรบนถนน ซึ่งโดยทั่วไปเพื่อให้การจำลองสภาพการจราจรเป็นไปโดยสะดวก จะต้องจัดสภาพทางกายภาพให้มีลักษณะคงที่ให้มากที่สุด ทั้งนี้เพื่อควบคุมตัวแปรเหล่านี้ให้เป็น Input อย่างเดียว ดังนั้นจึงได้มีการจัดแบ่งโครงข่ายถนนเป็น 2 ลักษณะ คือ

3.1.1 โครงข่ายถนนแบบเปิด (Opened Network)ประกอบด้วยกลุ่มของถนนที่เชื่อมต่อระหว่างทางแยกสัญญาณไฟ จากทางแยกหนึ่งไปสู่อีกทางแยกหนึ่ง โดยมีจุดเริ่มต้น (Origin) และจุดปลายทาง (Destination) ไม่บรรจบกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (ก)

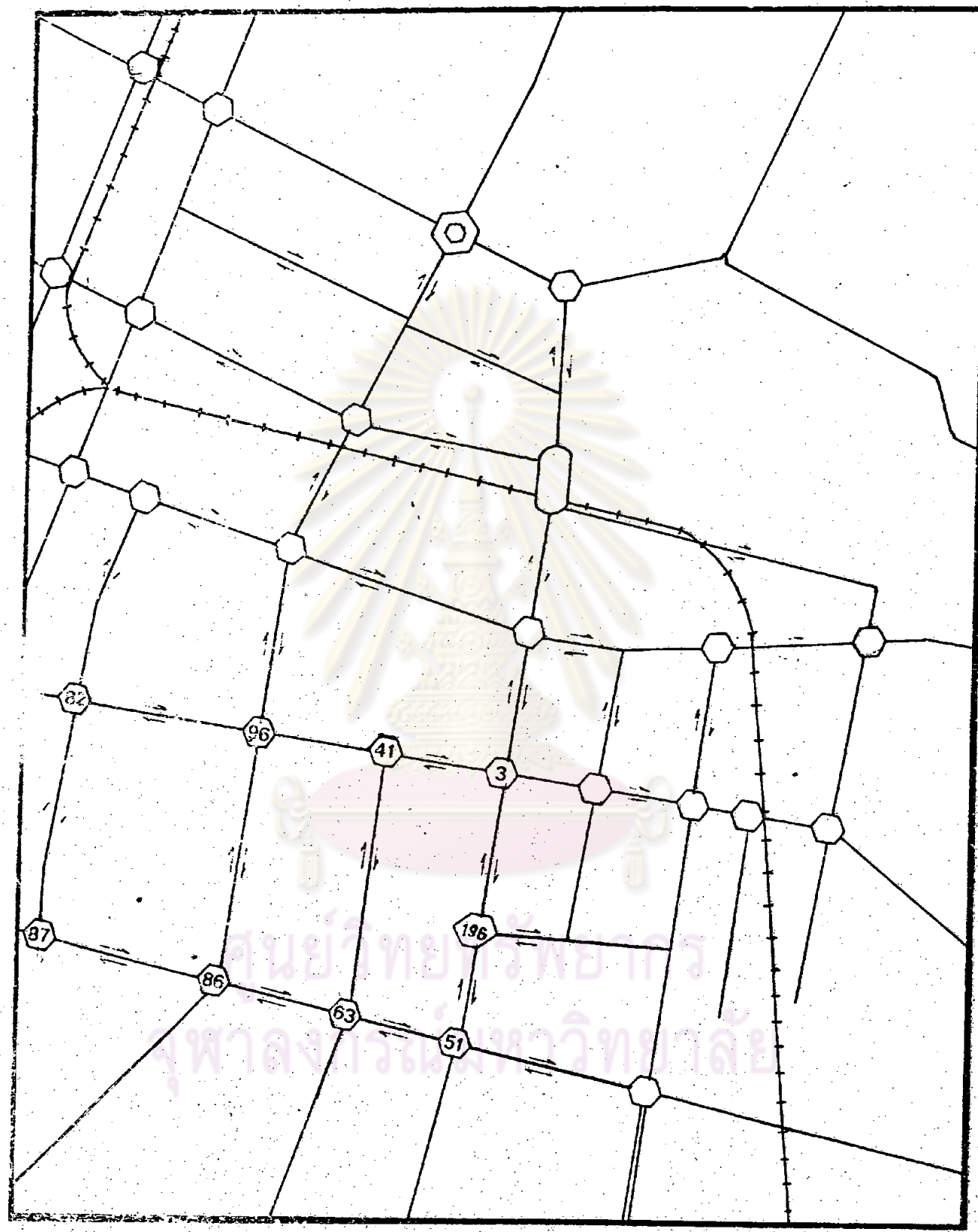
3.1.2 โครงข่ายถนนแบบปิด (Closed Network) ประกอบด้วยกลุ่มของถนนที่เชื่อมต่อระหว่างทางแยกสัญญาณไฟ เชื่อมต่อจากทางแยกหนึ่งไปสู่อีกทางแยกหนึ่ง โดยมีจุดเริ่มต้น (Origin) และจุดปลายทาง (Destination) มาบรรจบกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (ข)

ในการศึกษาปรับปรุงคอมพิวเตอร์โปรแกรม เพื่อสร้างแบบจำลองวิเคราะห์การจราจรเป็นโครงข่ายในที่นี้จะเน้นหนักถึงการศึกษาในโครงข่ายถนนปิด (Closed Network) เป็นสำคัญ โดยการจำลองสภาพการจราจรเป็นแบบ Macro Analysis พิจารณาพฤติกรรมของยวดยานเป็นกลุ่ม (Platoon) เคลื่อนที่ไปเทียบกับเวลาหรือช่วงระยะทางของถนน

3.2 โครงสร้างของ Link

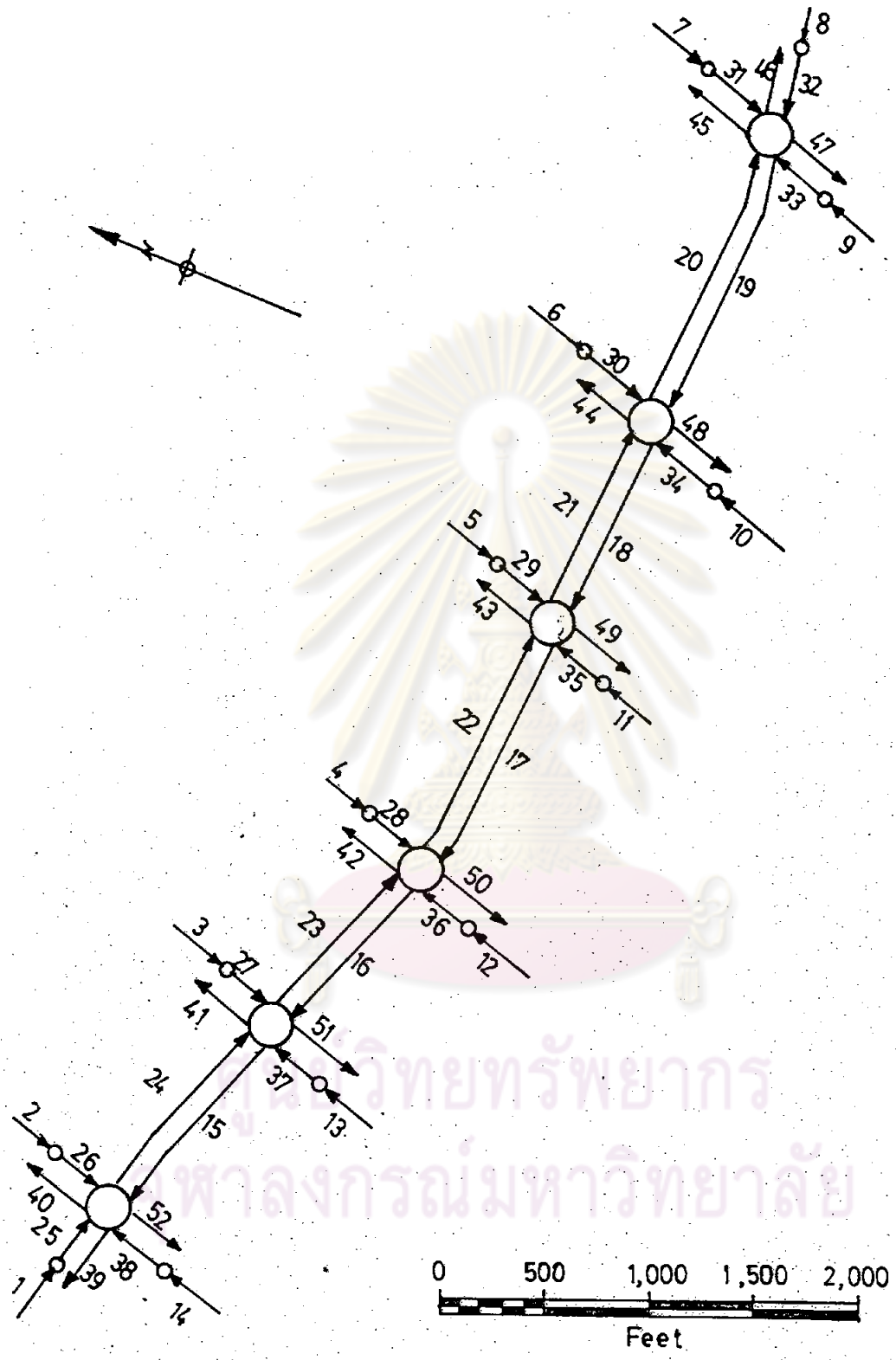
Link เป็นถนนที่เชื่อมต่อระหว่างสองทางแยกสัญญาณไฟ ซึ่งในที่นี้จัดให้มีกลุ่มยวดยานเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน จากทางแยกหนึ่งไปสู่อีกทางแยกหนึ่ง และยวดยานจะถูกควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรที่บริเวณทางแยก คุณลักษณะทางกายภาพ (Physical Characteristic) ของ Link ประกอบด้วย ความยาว (Length) ความกว้าง (Width) จำนวนช่องทางจราจร (Lane) ความจุของช่องทางและช่องทางเลี้ยวขวา ความเร็วอิสระ

013457



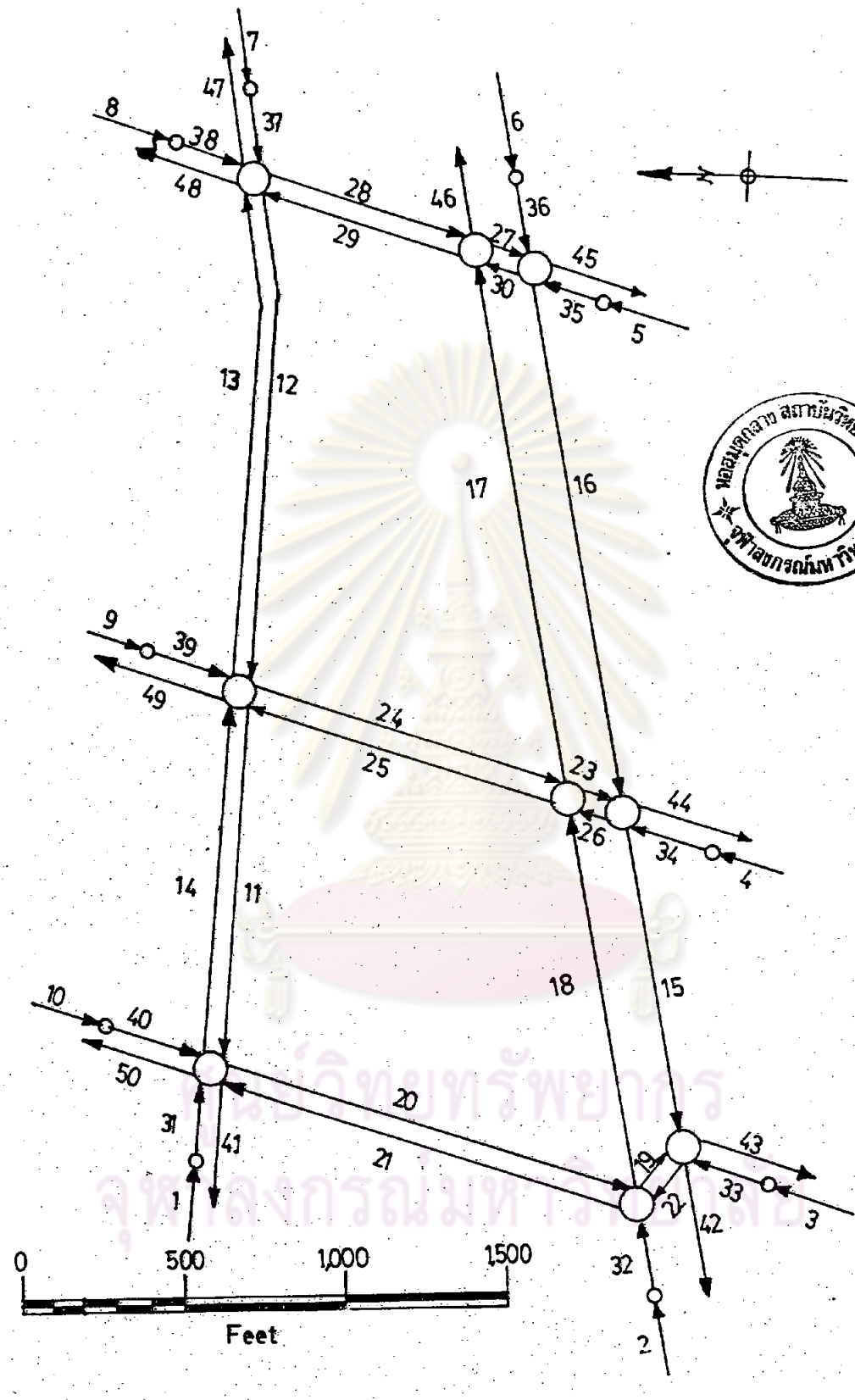
รูปที่ 3.1 โครงข่ายถนน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 (ก) โครงข่ายถนนแบบเปิด (Opened Network)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 (ข) โครงข่ายถนนแบบปิด (Closed Network)

(Free-Flow Speed) และชนิดของ Link ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ชนิดของ Link แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

3.2.1 Input Link ยวดยานจะถูกจำลองให้เกิดขึ้นที่ Link นี้ เพื่อที่จะเคลื่อนที่ผ่านทางแยกเข้าไปในโครงข่าย

3.2.2 Network Link จาก Input Link ยวดยานจะถูกส่งผ่านไปยัง Network Link ภายใน Link นี้ ยวดยานจะเคลื่อนที่ในลักษณะเป็นกลุ่มจากพื้นที่หนึ่ง (Zone) เพื่อไปยังอีกพื้นที่หนึ่ง ต่อเนื่องกันไปจนกว่าจะพ้น Network Link นั้น ๆ

3.2.3 Output Link ยวดยานจะเคลื่อนที่ผ่านทางแยกออกนอกโครงข่าย

3.3 พื้นที่ของการเคลื่อนที่ (Zone)

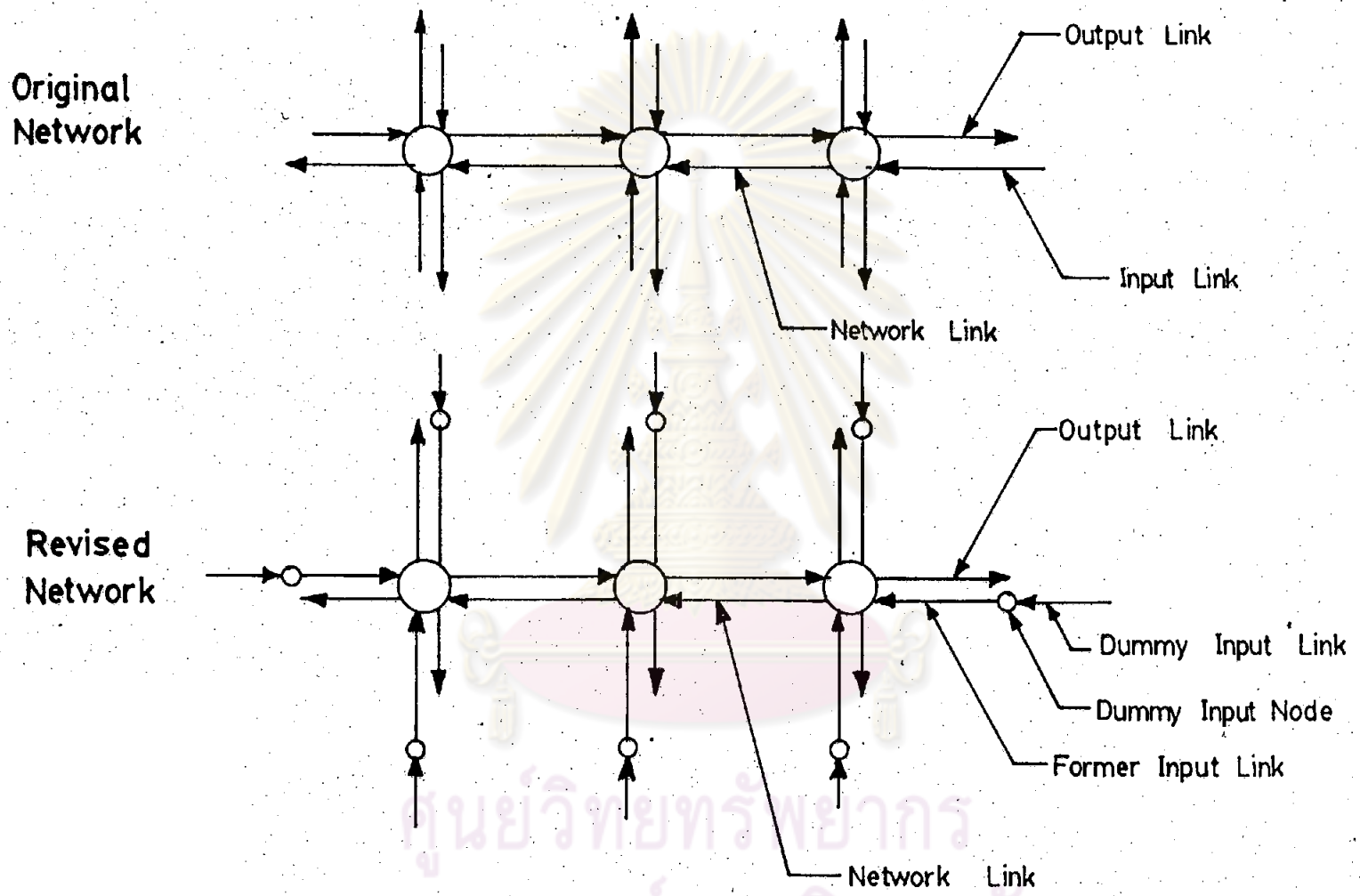
พื้นที่และความยาวในแต่ละ Link จะถูกแบ่งออกเป็นพื้นที่สำหรับการเคลื่อนที่ ความยาวของ Zone จะขึ้นอยู่กับความเร็วอิสระ (Free-Flow Speed) ของกลุ่มยวดยานที่สามารถเคลื่อนที่ตามสภาพทางกายภาพบนแต่ละ Link ในกรณีที่เป็น Input Link จะประกอบด้วย Zone เพียงหนึ่ง Zone เท่านั้น สำหรับ Network Link จะขึ้นอยู่กับความยาวของ Link ภายในของแต่ละ Zone ยังแบ่งออกเป็นช่องทางจราจร (Lane) ดังแสดงในรูปที่ 3.4

3.4 ระบบข้อมูลที่ใส่เข้าสู่โปรแกรม (Input)

3.4.1 พารามิเตอร์ทั่วไป (General Parameters)

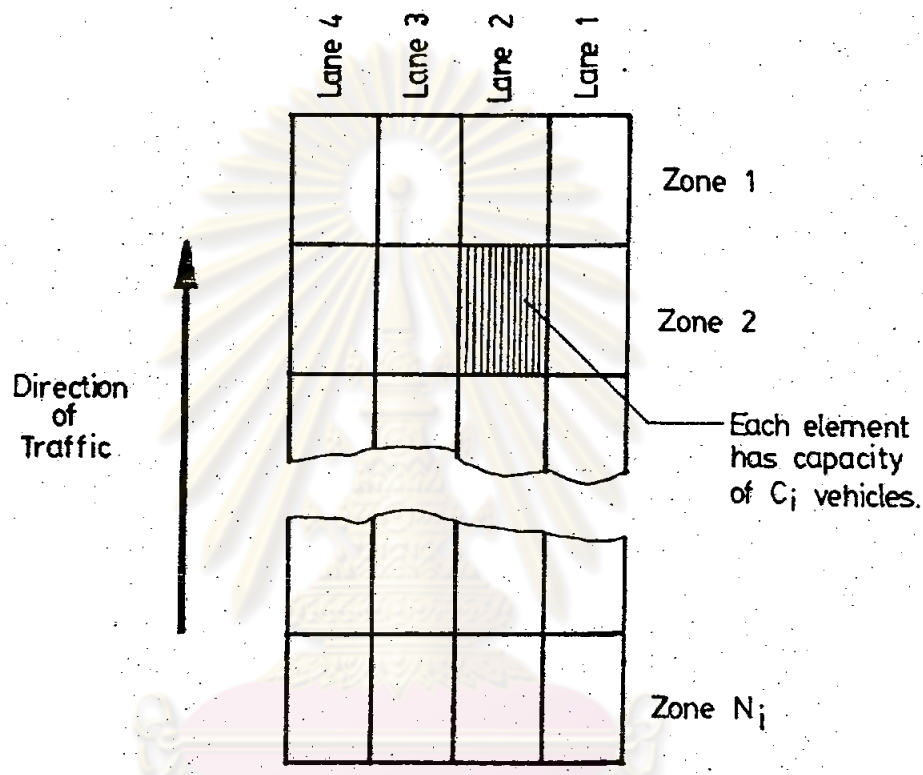
พารามิเตอร์ทั่วไปที่ใช้ในขบวนการ Simulation ตัวอย่างเช่น ขนาดของโครงข่าย (Network Size) คุณลักษณะของการจราจร (Traffic Characteristic) บางประเภทอาจจะต้องมีค่าคงที่ตลอดขบวนการ Simulation ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ประกอบด้วย

ก. ลำดับของขบวนการ ซึ่งแสดงถึงจำนวนครั้งของขบวนการจำลองสภาพการจราจร



รูปที่ 3.3 โครงสร้างของ Link

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 พื้นที่ของการเคลื่อนที่ (Zone)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. ระยะเวลาของขบวนการ (duration of run) เป็นระยะเวลาของช่วงเวลาที่ต้องการศึกษาทั้งหมด (observe time) ในขบวนการจำลองสภาพการจราจร มีหน่วยเป็นนาที

ค. ระยะเวลา (fill time) เป็นระยะเวลาก่อนที่จะเริ่มขบวนการ Simulation มีหน่วยเป็นนาที

ง. ระยะเวลาย่อยของการจำลองสภาพการจราจร (simulation sub-period)

จ. จำนวนของ (inpput link)

ฉ. จำนวนของ (network link)

ช. จำนวนของ (output link)

ซ. จำนวนของทางแยกสัญญาณไฟ

ฌ. ความยาวประสิทธิภาพของยวดยาน (effective vehicle length) มีหน่วยเป็นฟุต

ญ. ความยาวคิวสูงสุดที่อนุญาตให้มีขึ้นที่แต่ละทางแยก

ฏ. ระยะเวลาของสัญญาณไฟเหลือง (amber time) มีหน่วยเป็นวินาที

ฏ. การสร้างค่า random number

3.4.2 พารามิเตอร์ในการตัดสินใจของผู้ขับขี่ยวดยาน (Driver Decision Parameter)

เป็นพารามิเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงได้สำหรับแต่ละ Link (แต่คงที่ในช่วงเวลาที่จำลองพฤติกรรมการจราจร) ซึ่งขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้ขับขี่และพฤติกรรมของสภาพการจราจรบนเส้นทางที่จะจำลองสภาพ ประกอบด้วยตัวแปรดังนี้

ก. โอกาสที่ยวดยานจะเลี้ยวขวา (probability of right turn) ในขณะที่เริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวใน Link ตรงข้าม (opposing link) ของ lane ที่ 1,2,3,4

ข. ช่วงว่างน้อยที่สุดที่จะเลี้ยวขวา (minimum right turn gap) มีหน่วยเป็นวินาที

ค. ช่วงว่างวิกฤติที่จะเลี้ยวขวา (critical right turn gap) เท่ากับ 50% ของช่วงว่างที่เลี้ยวขวาไปได้อย่างปลอดภัย มีหน่วยเป็นวินาที

ง. ช่วงว่างน้อยที่สุดที่จะเลี้ยวซ้ายในขณะสัญญาณไฟแดง (minimum left turn on red gap) มีหน่วยเป็นวินาที

จ. ช่วงว่างวิกฤติที่จะเลี้ยวซ้ายในขณะสัญญาณไฟแดง (critical left turn on red gap) เท่ากับ 50% ของช่วงว่างที่เลี้ยวซ้ายในขณะสัญญาณไฟแดงไปได้อย่างปลอดภัยมีหน่วยเป็นวินาที

3.4.3 คุณลักษณะทางกายภาพและการจราจร (Geometric and Traffic Characteristics)

ก. ลำดับของ link (link number) สำหรับ input link จะเริ่มต้นด้วย 1,2,...,NI network link (NI+1),...,NI+NN

ข. จำนวนของ link ตรงข้าม (opposing link) ที่ยวดยานจะเลี้ยวขวาผ่านไปได้

ค. จำนวนของ link ตรงข้าม ที่ยวดยานจะเลี้ยวซ้ายไปได้ในขณะสัญญาณไฟแดง

ง. จำนวนของ link ที่ขนานกัน (parallel link) และอยู่ใกล้กัน แต่มีทิศทางการเคลื่อนที่ของยวดยานสวนกัน

จ. จำนวนของ link รองรับยวดยานเคลื่อนที่ผ่านทางตรง

ฉ. จำนวนของ link รองรับยวดยานเลี้ยวขวา

ช. จำนวนของ link รองรับยวดยานเลี้ยวซ้าย

ช. จำนวนของ link รองรับยวดยานเลี้ยวทะแยง

ฌ. ทิศทางการเลี้ยวทะแยงซ้ายหรือทะแยงขวา

ญ. ความยาวของ link (link length) มีหน่วยเป็นฟุต

ฏ. ความกว้างของ link (width of link) หรือจำนวนช่องทางจราจร

ฏ. ความจุของช่องทางการเลี้ยวขวา มีหน่วยเป็นคัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฐ. โอกาสของการกระจายของจำนวนยวดยานในแต่ละช่องทางจราจร (lane distribution probability)

ฑ. โอกาสของการเคลื่อนไปในแต่ละทิศทาง (turning movement probability)

ฒ. ความเร็วอิสระ (free flow speed) มีหน่วยเป็น ไมล์ต่อชั่วโมง

ณ. อัตราการเปลี่ยนแปลงสุทธิของจำนวนยวดยาน (net change rate) หรืออัตราจำนวนยวดยาน (volume rate)

ด. จำนวนคนเดินเท้า (pedestrian volume rate)

ต. การกำหนดการเลี้ยวซ้ายในขณะสัญญาณไฟแดง

3.4.4 คุณลักษณะของสัญญาณไฟจราจรและการเคลื่อนที่ของคิว (Traffic Signal Timing and Queue Launching Characteristics)

ก. ชนิดและเลขหมายของ link

ข. รอบเวลาสัญญาณไฟ ((cycle length), วินาที

ค. สัญญาณไฟหลัก และเวลาเริ่มไฟแดงของสัญญาณไฟหลัก, วินาที

ง. ช่วงจังหวะเวลาสัญญาณไฟแดง, วินาที

จ. สัญญาณไฟหลัก และเวลาเริ่มไฟเขียวของสัญญาณไฟหลัก, วินาที

ฉ. ช่วงจังหวะเวลาสัญญาณไฟเขียว, วินาที

ช. สัญญาณไฟหลัก และเวลาเริ่มไฟเขียวตรงของสัญญาณไฟหลัก, วินาที

ช. ช่วงจังหวะเวลาสัญญาณไฟเขียวตรง, วินาที

ฌ. สัญญาณไฟหลัก และเวลาเริ่มไฟเขียวเลี้ยวซ้ายของสัญญาณไฟหลัก, วินาที

ญ. ช่วงจังหวะเวลาสัญญาณไฟเขียวเลี้ยวซ้าย, วินาที

ฎ. สัญญาณไฟหลัก และเวลาเริ่มไฟเขียวเลี้ยวขวาของสัญญาณไฟหลัก, วินาที

ฏ. ช่วงจังหวะเวลาสัญญาณไฟเขียวเลี้ยวขวา, วินาที

ฐ. สัญญาณไฟหลัก และเวลาเริ่มไฟเขียวเลี้ยวทะแยงของสัญญาณไฟหลัก

ฑ. ช่วงจังหวะเวลาสัญญาณไฟเขียวเลี้ยวทะแยง

ฌ. สัญญาณไฟหลักของคนเดินเท้า และเวลาเริ่มไฟเขียวของสัญญาณไฟหลักของคนเดินเท้า, วินาที

ญ. ช่วงจังหวะเวลาสัญญาณไฟเขียวของคนเดินเท้า, วินาที

ฎ. อัตราการไหลอิ่มตัว, คันต่อวินาที

ฏ. ระยะเวลาสูญเสีย (lost time), วินาที

3.4.5 คุณลักษณะของการทำงานการจราจร (Traffic Operating Characteristic)

ก. ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็ว (standard deviation of vehicle speed)

ข. โอกาสการเคลื่อนของยวดยานผ่านไปไม่ได้

3.5 การคำนวณหาค่าพื้นฐาน

3.5.1 ความยาวของ Zone (Length of Zone), Z_i คือ ระยะทางที่ยวดยานหนึ่งคันเคลื่อนที่ด้วยความเร็วอิสระ (Free-Flow-Speed) ในหนึ่งรอบเวลา (Cycle Time) Scan Time Interval ในที่นี้จะใช้เท่ากับ 2 วินาที

$$Z_i = \frac{22}{15} S_i t \qquad \text{ฟุต}$$

โดย S_i = ความเร็วอิสระ, ไมล์ต่อชั่วโมง

t = Scan Time Interval, วินาที

3.5.2 จำนวน Zone (Number of Zones), N_i จะขึ้นอยู่กับความยาวของแต่ละ Link และเป็นเลขจำนวนเต็ม (Integer) ในกรณีที่เป็น Input Link จะมีเพียง Zone เดียวเท่านั้น

$$N_i = \left\{\frac{LL}{Z_i} + \frac{1}{2}\right\} \qquad \text{หรือ} \quad 1$$

โดย LL = ความยาวของ Link

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5.3 ความจุของ Zone, C_i คือ ความสามารถในการรับยวดยานได้มากที่สุดของแต่ละ Zone และเป็นเลขจำนวนเต็ม (Integer)

$$C_i = \left\{\frac{Z_i}{L} + \frac{1}{2}\right\} \quad \text{หรือ} \quad 1$$

โดย L = ความยาวประสิทธิภาพของยวดยาน (Effective Length)

ในรูปที่ 3.4 จะแสดงคุณลักษณะของ Link ที่มี 4 ช่องทางจราจร

3.5.4 การกำหนดคุณลักษณะของสัญญาณไฟจราจร (State of Signal Indication)

ในการปรับปรุงคอมพิวเตอร์โปรแกรม ได้กำหนดให้จังหวะเวลาต่าง ๆ ของสัญญาณไฟจราจรคงที่ แทนด้วย S_i,X โดย X เป็นจังหวะเวลาของสัญญาณไฟต่าง ๆ เช่น สัญญาณไฟแดง (X = R) สัญญาณไฟเขียว (X = G) สัญญาณไฟเขียวตรง (X = GAS) สัญญาณไฟเขียวเลี้ยวขวา (X = GAR) สัญญาณไฟเขียวเลี้ยวซ้าย (X = GAL) และสัญญาณไฟเขียวเลี้ยวทแยง (X = GAD) ในกรณีที่ S_i,X มีค่าต่ำสุดและอาจจะมีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มลบ แทนด้วย S_i,x,min กรณีที่มีค่าสูงสุดหรือมีค่าเป็นจำนวนเต็มบวก แทนด้วย S_i,x,max

$$S_i,x,max = \frac{\text{ระยะเวลา -1}}{\text{Scan Time}} - 1$$

$$S_i,x,min = \frac{\text{ระยะเวลา - รอบเวลา}}{\text{Scan Time}}$$

$$S_i,x = \frac{\theta - \text{เวลาอ้างอิง (Reference)}}{\text{Scan Time}}$$

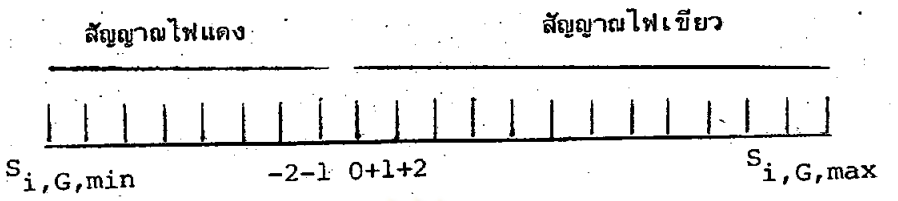
ในกรณีที่ เวลาอ้างอิง + ระยะเวลา > รอบเวลา จะได้ θ = รอบเวลา หากในกรณีที่ เวลาอ้างอิง + ระยะเวลา < รอบเวลา จะได้ $\theta = 0$

ถ้ากรณี $S_i,x < 0$ จังหวะเวลาสัญญาณไฟจะปิด

$S_i,x = 0$ จังหวะเวลาสัญญาณไฟกำลังจะเริ่มเปิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$S_i, x > 0$ จังหวะเวลาสัญญาณไฟจะเปิด



จากรูปข้างต้นเป็นตัวอย่างแสดงของหมวดสัญญาณไฟเขียว ในกรณี

ถ้า $S_i, x < 0$ สัญญาณไฟเขียวจะปิด (off)

$S_i, x = 0$ สัญญาณไฟเขียวจะเริ่มเปิด (will turn on)

$S_i, x > 0$ สัญญาณไฟเขียวเปิด (on)

3.6 ขบวนการ Simulation (Simulation Loop)

ในแต่ละรอบของขบวนการ Simulation จะประกอบด้วยพฤติกรรมหลัก 4 ประการ คือ

3.6.1 การจัดยวดยานเข้าสู่ระบบ (Generation of New Vehicle)

ในช่วงเวลาเริ่มต้นก่อนขบวนการ Simulation ซึ่งเป็นเวลา Fill Time ยวดยานจะถูก Generate เข้ายาสู่ Input Link โดยวิธี Random Number ที่มีการกระจายของการเข้ามาของยวดยานเป็นแบบ Poisson ซึ่งในแต่ละ Link จะสร้างตารางโอกาส Probability Table เพื่อบรรจุค่าตัว Random Number ไว้ และเปลี่ยนแปลงค่าทุก ๆ ช่วงเวลา (Time Interval) 15 นาที ตารางโอกาสนี้จะถูกสร้างขึ้นโดยใช้พื้นฐานทางสถิติจาก $\lambda_{i,r}$ เป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$P(i,x) = \frac{(mi)^x . e^{-mi}}{X!}$$

โดย $mi = \lambda_{i,r} t$

X = จำนวนยวดยานที่จะเข้าไปใน Input Link ในหนึ่งรอบของขบวนการ Simulation

3.6.2 การเคลื่อนที่ผ่านระหว่างทางแยก (Inter-Link Traffic Movement)

หลังจากที่ยวดยานถูก Generate ให้เข้าไปใน Input Link แล้วก็จะเริ่มขบวนการ Simulation ในช่วงเวลาของ Observe Time โดยยวดยานที่อยู่ในแต่ละช่องทางจราจรของ Zone หน้าสุดของ Link หรือเรียกว่า Source Link จะเคลื่อนที่ผ่านระหว่างทางแยกไปยังแต่ละช่องทางจราจรของ Zone ท้ายสุดของ Destination Link

การเคลื่อนที่ระหว่างทางแยกของยวดยานจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังต่อไปนี้

ก. สภาพหยุดนิ่ง (stopping state) กรณีนี้ยวดยานจะหยุดอยู่กับที่ในช่องทางจราจรของ source link เนื่องจากถูกควบคุมด้วยสัญญาณไฟแดง ทำให้ยวดยานไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านระหว่างทางแยกไปได้

ข. สภาพการเคลื่อนที่แบบคิว (queue state) กรณีนี้ยวดยานก่อตัวขึ้นเป็นคิวที่บริเวณทางแยก ดังนั้นยวดยานที่อยู่ Zone หน้าสุดของ source link สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการไหลอิ่มตัวที่ทางแยก จากตารางการไหลอิ่มตัวที่กำหนดให้

ค. สภาพการเคลื่อนที่แบบอิสระ (free flow state) กรณีนี้ยวดยานเคลื่อนที่ผ่านทางแยกได้แบบอิสระ ดังนั้นยวดยานที่อยู่ Zone หน้าสุดของ source link สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้หมด ยกเว้นยวดยานที่จะเลี้ยวขวาซึ่งจะถูกขัดขวางไว้หรือไม่ขึ้นอยู่กับสัญญาณไฟสำหรับยวดยานอีกด้านหนึ่ง

ง. ลักษณะทางกายภาพของ source link ซึ่งอาจจะประกอบด้วยช่องทางเลี้ยวซ้าย (left turn pocket) หรืออาจจะไม่มีก็ได้

จ. สภาพความจุของ Zone ท้ายสุดของแต่ละช่องทางจราจรของ destination link

ในการปรับปรุงคอมพิวเตอร์โปรแกรม พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของยวดยานผ่านระหว่างทางแยก แบ่งออกได้ดังนี้

ก. พฤติกรรมการเกิด Queue

ที่บริเวณทางแยกสัญญาณไฟใด ๆ ในโครงข่าย เมื่อเริ่มต้นของสัญญาณไฟเขียว จำนวนยวดยานที่อยู่ในแต่ละช่องทางจราจรของ Zone หน้าสุดของ Link จะถูกตรวจสอบเพื่อเปรียบเทียบจำนวนยวดยานที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ในช่วงเวลาเดียวกัน ในกรณีที่จำนวนยวดยานใน Zone มีค่ามากกว่า จะทำให้การเคลื่อนที่ผ่านระหว่างทางแยกของยวดยานในแต่ละช่องทางจราจรจะเป็นแบบคิว (Queue State) และในกรณีที่มีค่าน้อยกว่าการเคลื่อนที่ผ่านระหว่างทางแยกของยวดยานในแต่ละช่องทางจราจรจะเป็นแบบอิสระ (Free Flow State) จำนวนยวดยานที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ต้องอาศัยตารางการไหลอิ่มตัวเป็นตัวกำหนดและจะต้องมีค่าไม่เกินกว่าอัตราที่เกิดขึ้นในสภาพจริง

ข. การหาความแตกต่างของการเคลื่อนที่

ความแตกต่างการเคลื่อนที่ของยวดยานในแต่ละช่องทางจราจรของ Zone หน้าสุดของแต่ละ link จะขึ้นอยู่กับสัญญาณไฟและสภาพของแต่ละช่องทางจราจร ซึ่งอาจจะเป็นแบบคิว หรือแบบอิสระ ในกรณีที่เป็นสัญญาณไฟแดง ความแตกต่างการเคลื่อนที่ของยวดยานจะมีค่าเป็น o และในกรณีที่เป็นสัญญาณไฟเขียวและสภาพของแต่ละช่องทางจราจรเป็นแบบคิว ความแตกต่างการเคลื่อนที่ของยวดยานจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาสัญญาณไฟเขียว

ค. พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของยวดยาน

หลังจากที่จัดยวดยานเข้าสู่ระบบในแต่ละช่องทางจราจรของ Input Link เพื่อที่จะเคลื่อนที่ผ่านทางแยกไปยังช่องทางจราจรที่ Destination Link ตามขบวนการจำลองสภาพการจราจรที่ทางแยกนั้น ในกรณีที่ยวดยานต้องการเลี้ยวขวาจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้อย่างอิสระในขณะที่มีสัญญาณไฟเขียวเลี้ยวขวา แต่ในขณะที่มีแต่สัญญาณไฟเขียว (G)และอนุญาติให้เลี้ยวขวาได้ยวดยานดังกล่าวจะต้องตรวจสอบลักษณะของ Link ตรงข้าม

(Opposing Link) ว่า

- สามารถเลี้ยวขวาได้หรือไม่
- link ตรงข้ามมีสัญญาณไฟเขียวหรือไม่
- สัญญาณไฟเขียวของ link ตรงข้ามจะดับหรือยัง โดยสังเกตุจากสัญญาณไฟเหลือง (amber) และสามารถเลี้ยวขวาได้หรือไม่
- ยวดยานที่อยู่ใน link ตรงข้าม เป็นอุปสรรคต่อการเลี้ยวขวาหรือไม่

ในกรณีที่ยวดยานไม่สามารถเลี้ยวขวาได้เนื่องจากมีข้อขัดข้องจากทั้ง 4 กรณี ก็จะหยุดรอ (Hang-Up) ที่ช่องทางเลี้ยวขวานั้น โปรแกรมจะเก็บจำนวนยวดยานที่หยุดรอไว้ในตารางหยุดรอ (Hang-Up Table) และจะพยายามให้สามารถเคลื่อนที่ไปได้ในขบวนการ Simulation รอบต่อไป การหยุดรออาจเกิดจากมีปริมาณยวดยานสูงมากที่ Destination Link ก็ได้

จำนวนยวดยานทั้งหมดที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านระหว่างทางแยกสัญญาณไฟ จะถูกเก็บไว้ในตารางการเคลื่อนที่ (Transition) ก่อน หลังจากนั้นก็จะนำไปเก็บไว้ที่ Zone ท้ายสุดของ Link ใหม่ และโปรแกรมจะแสดงผลของจำนวนยวดยานที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านระหว่างทางแยก และความล่าช้า (Delay) ของยวดยานที่เกิดขึ้น

3.6.3 การเคลื่อนที่ของยวดยานภายใน Link (Intra-Link Traffic Movement)

หลังจากที่ยวดยาน Zone หน้าสุดของ Link ได้เคลื่อนที่ผ่านทางแยกไปแล้ว ยวดยานที่อยู่ใน Zone อื่น ๆ ของ Link ก็จะมีการเคลื่อนที่ภายใน Link โดยจาก Zone หนึ่งไปแทนที่อีก Zone ตามลำดับ ในหนึ่งรอบของขบวนการ Simulation ขณะเดียวกันโปรแกรมจะบันทึกจำนวนยวดยานที่เคลื่อนที่ (Movement) และความล่าช้า (Delay) ของยวดยานที่เกิดขึ้น

3.6.4 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณไฟจราจร (Updating Traffic Signals)

ในรอบใด ๆ ของขบวนการ Simulation สัญญาณไฟจราจรที่บริเวณทางแยกอาจจะมีลักษณะไฟแบบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

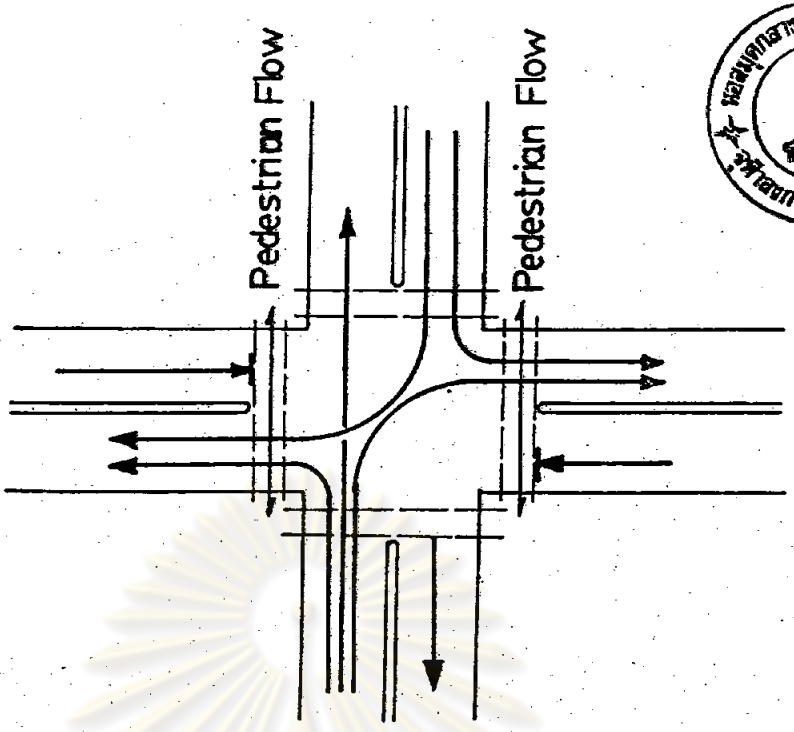
1. สัญญาณไฟแดง (Red), R
2. สัญญาณไฟเขียว (Full Green), G
3. สัญญาณไฟเขียวตรง (Green Arrow Straight), GAS
4. สัญญาณไฟเขียวเลี้ยวขวา (Green Arrow Right), GAR
5. สัญญาณไฟเขียวเลี้ยวซ้าย (Green Arrow Left), GAL
6. สัญญาณไฟเขียวเลี้ยวทะแยง (Green Arrow Didgonal), GAD

สำหรับสัญญาณไฟแดงและสัญญาณไฟเขียว (Full Green) จะไม่เกิดขึ้นที่ช่วงเวลาเดียวกัน ส่วนสัญญาณไฟเขียวตรง, เลี้ยวขวา, เลี้ยวซ้าย, และเลี้ยวทะแยงสามารถเกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกันได้ตามสภาพที่ใช้จริง และสัญญาณไฟเหลือง (Amber) จะเป็นส่วนหนึ่งของสัญญาณไฟเขียว

3.7 <u>การรบกวนเนื่องจากคนเดินเท้า</u> (Pedestrian Interference)

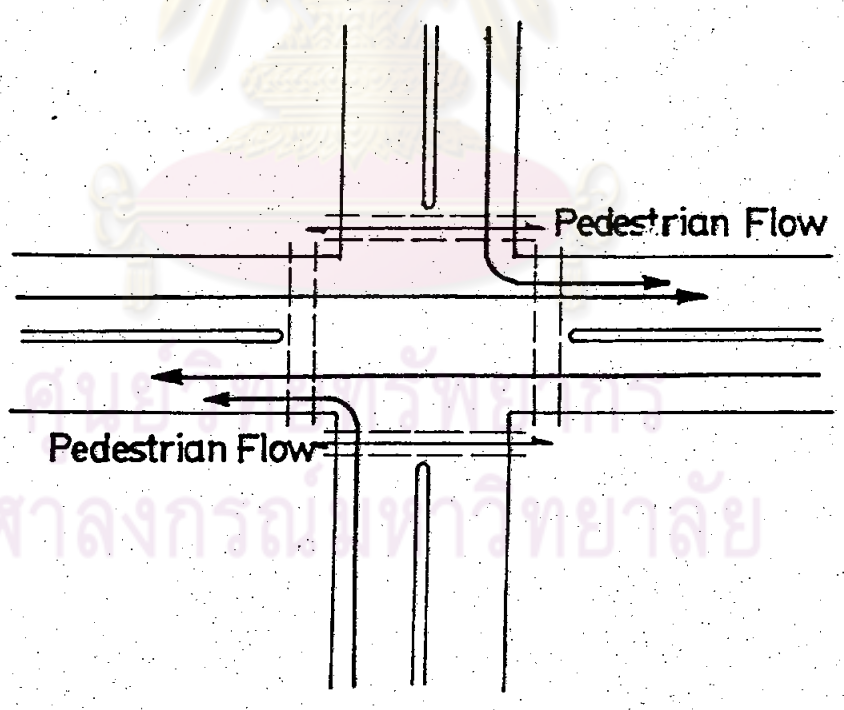
ในทางทฤษฎีคนเดินเท้า (Pedestrian) ไม่สามารถที่จะข้ามถนนบริเวณทางแยกสัญญาณไฟในขณะที่ยวดยานได้รับสัญญาณไฟเขียว และในขณะเดียวกันคนเดินเท้าก็จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณไฟแดง ดังนั้นยวดยานที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณทางแยกสัญญาณไฟจะไม่ถูกรบกวน (Interfere) จากคนเดินเท้า แต่ในขณะที่คนเดินเท้าได้รับสัญญาณไฟเขียวนั้น (Walk) จะไปรบกวนยวดยานที่ต้องเลี้ยวขวา หรือเลี้ยวซ้ายขณะสัญญาณไฟแดง (อนุญาตให้เลี้ยวซ้ายได้) ยวดยานที่ถูกรบกวนจากคนเดินเท้าบริเวณทางแยกสัญญาณไฟ แบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ

1. กรณีที่เกิดขึ้นทั่ว ๆ ไป (standard case) ดังแสดงในรูปที่ 3.5
2. กรณีที่ยวดยานเลี้ยวซ้ายขณะสัญญาณไฟแดง (left turn on red) ดังแสดงในรูปที่ 3.5



Standard Case

Pedestrian Interference
On Turning Exit Legs.



Left-Turn-On-Red-Case

Pedestrian Interference
On Approach Legs.

รูปที่ 3.5 การรบกวนเนื่องจากคนเดินเท้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการศึกษาของ นายประสิทธิ์ จึงสงวนพรสุข (2)พบว่าที่บริเวณทางแยกสัญญาณไฟ ยวดยานจะถูกรบกวนจากคนเดินเท้าเป็นฟังค์ชั่นของระยะเวลาเริ่มต้นที่ยวดยานได้สัญญาณไฟเขียวหรืออีกนัยหนึ่งเป็นฟังค์ชั่นของระยะเวลาเริ่มต้นของคนเดินเท้าที่จะข้ามถนน J.H. Kell(9)ได้แบ่งช่องทางเดินเท้า (Cross Walk) ที่บริเวณทางแยกสัญญาณไฟที่มี 4 ช่องทางการเคลื่อนที่ของยวดยาน แบ่งออกเป็น 3 ส่วน (Zone) ดังแสดงในรูปที่ 3.6 3.6 และทำการศึกษาข้อมูลของจำนวนคนเดินเท้าในขณะที่คนเดินเท้าเริ่มได้สัญญาณไฟเขียวบริเวณช่องทางเดินเท้าที่ได้แบ่งไว้ ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าจำนวนคนเดินน้อยที่สุดน้อยกว่า 100 คนต่อชั่วโมง และมากที่สุดมากกว่า 350 คน ต่อชั่วโมง นำไปสร้างความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสที่ยวดยานจะถูกรบกวนจากคนเดินเท้า (Probability of Conflict) กับระยะเวลาที่คนเดินเท้าเริ่มได้สัญญาณไฟเขียวเป็นไปตามความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดังกล่าวประกอบกับการใช้ทฤษฎีของ J.H. Kell ขึ้นใหม่ ระหว่างจำนวนคนเดินเท้า (Pedestrian Volume) กับระยะเวลาอ้างอิง (Time Reference) , วินาที ดังแสดงในรูปที่ 3.8 สามารถเขียนเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ดังนี้

โอกาสที่ยวดยานจะถูกรบกวนจากคนเดินเท้า = ค่าความลาดเอียง x จำนวนคนเดินเท้า

(Probability of Interference) (Slope) (Pedestrian Volume)

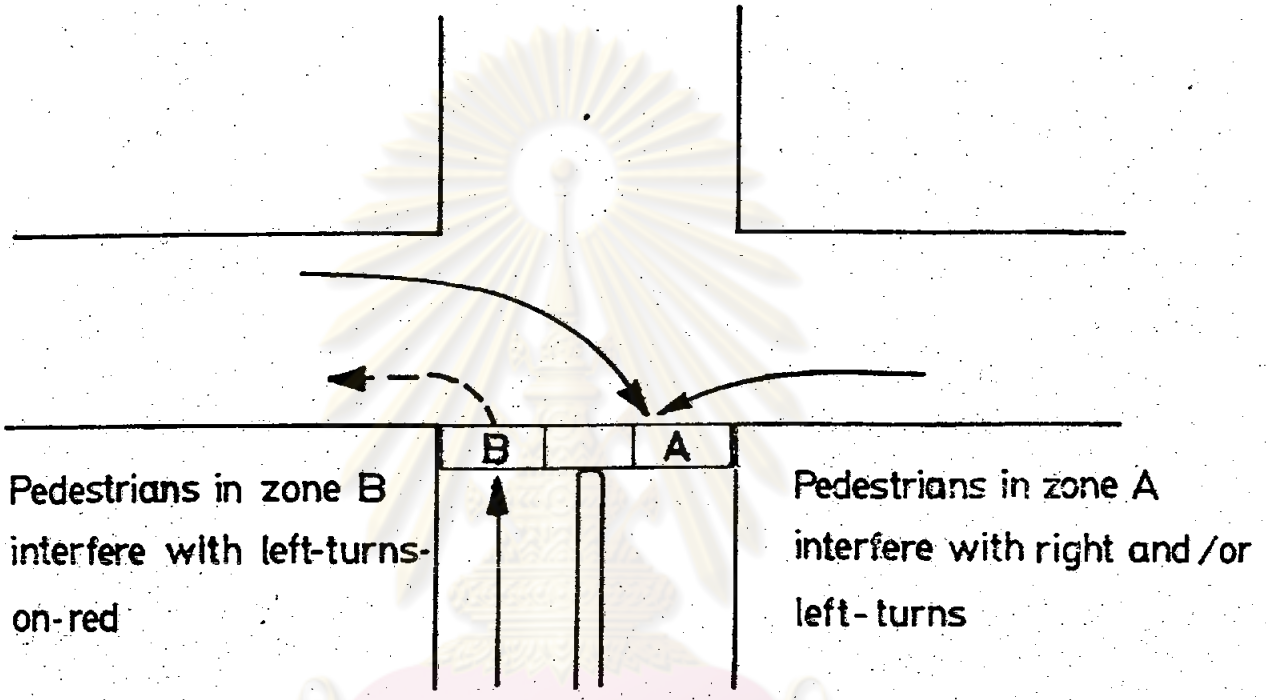
จากการวิเคราะห์สมการเส้นถดถอย (Regression Analysis) เพื่อหาค่าความลาดเอียงได้ดังนี้

ค่าความลาดเอียง = 0.002125 - 0.0000526 (Time Reference)

แทนค่าความลาดเอียง จะได้

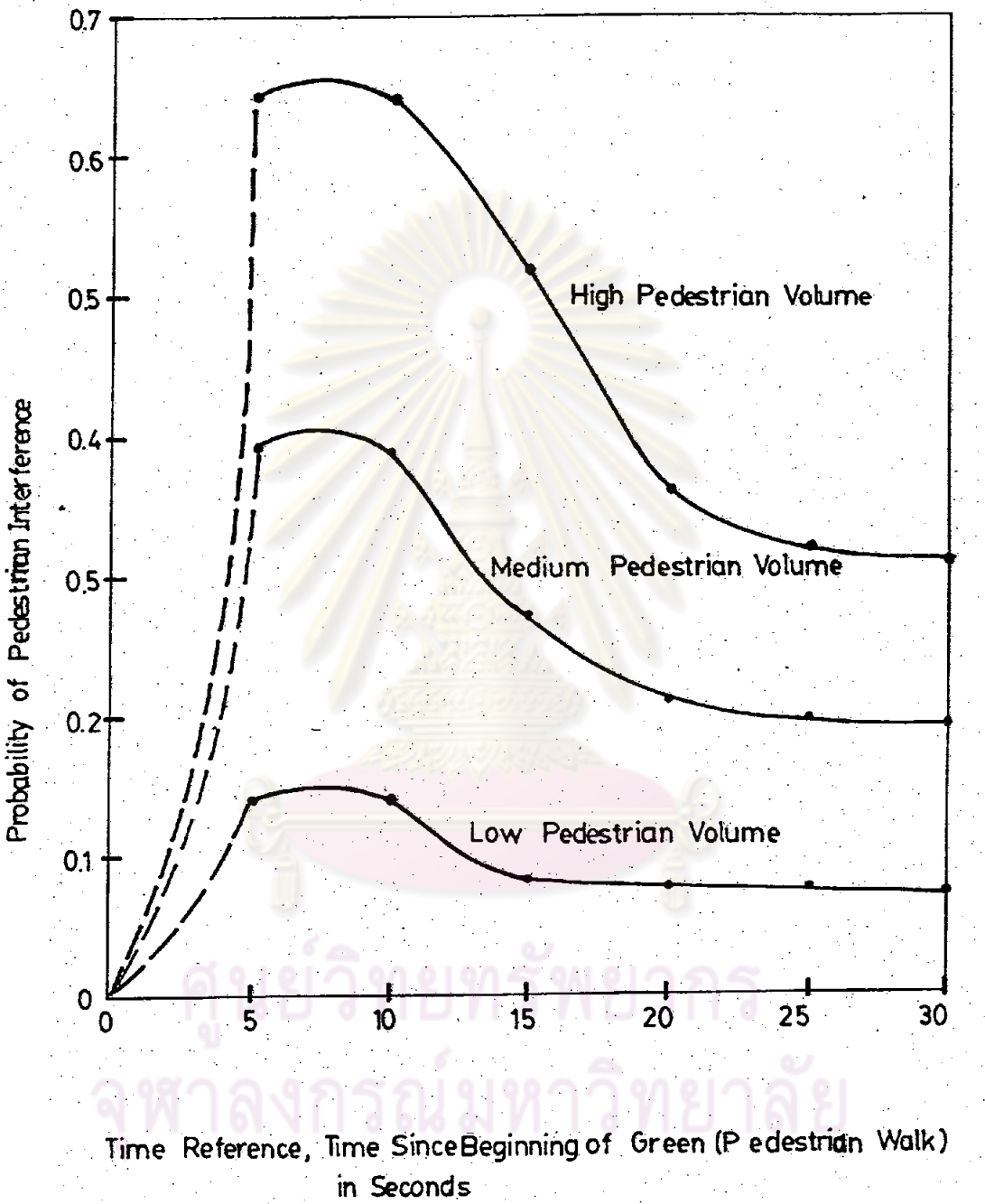
โอกาสที่ยวดยานจะถูกรบกวนจากคนเดินเท้า = {0.002125-0.0000526 (Time Reference)

ต่อมา David E. Barnhart (2) ได้ปรับปรุงวิเคราะห์การรบกวนของคนเดินเท้า โดยใช้ทฤษฎีและหลักการคล้ายกับ Kell ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนคนเดินเท้าที่บริเวณทางแยกสัญญาณไฟพบว่า โอกาสที่ยวดยานจะถูกรบกวนจากคนเดินเท้า (Pv,t) ขึ้นอยู่กับ จำนวนคนเดินเท้า (v) สามารถสร้างเป็นสูตรคณิตศาสตร์ได้ดังนี้



รูปที่ 3.6 พื้นที่รบกวนของคนเดินเท้า

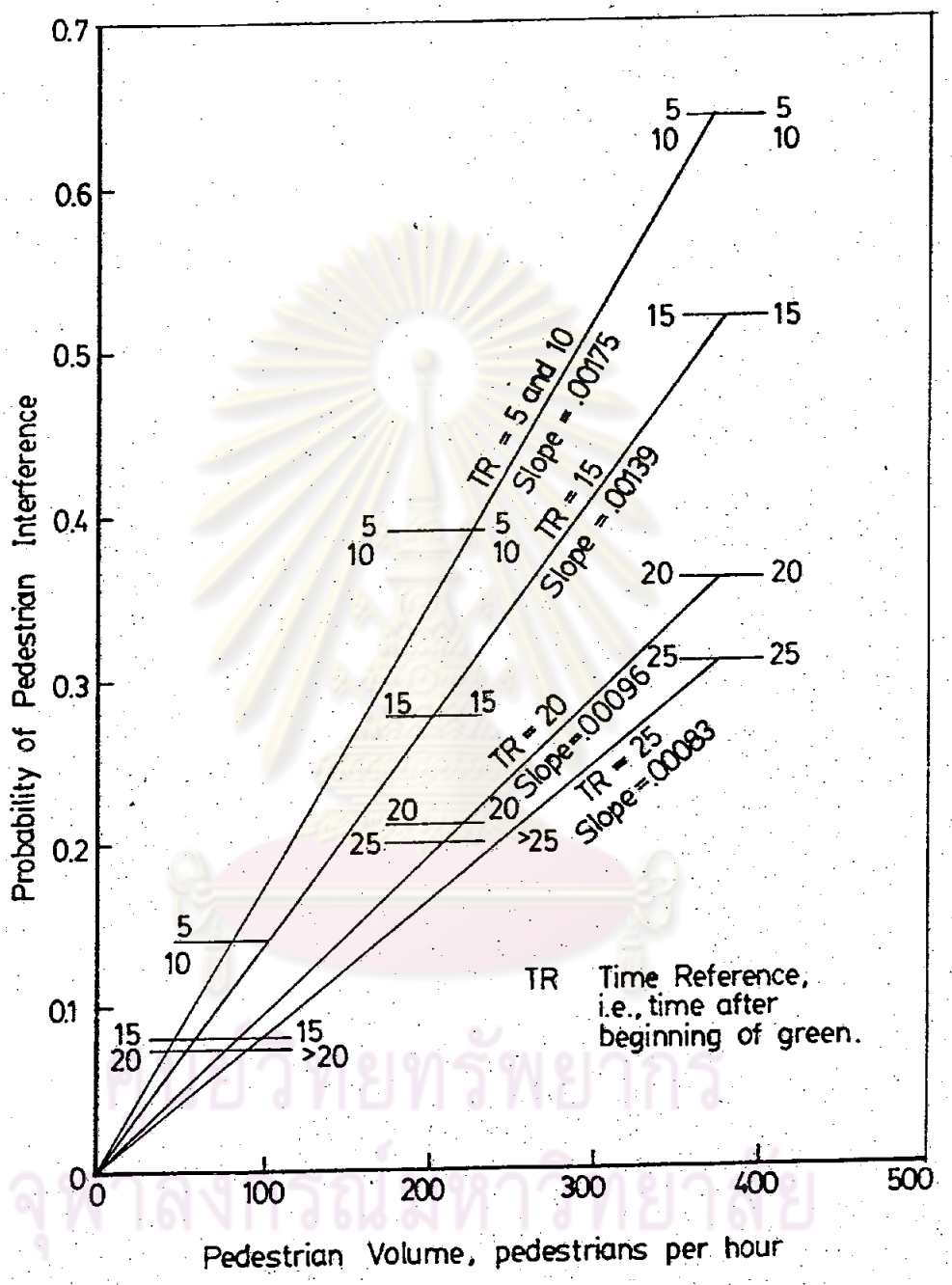
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 โอกาสที่ยวดยานจะถูกรบกวนจากคนเดินเท้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

i17569503



รูปที่ 3.8 จำนวนคนเดินเท้ากับเวลาอ้างอิง

$$Pv;t = \frac{\text{จำนวนรอบสัญญาณไฟที่สังเกตุจำนวนคนเดินเท้า v, ที่บริเวณรบกวนในเวลาอ้างอิง t}}{\text{จำนวนรอบสัญญาณไฟทั้งหมดที่สังเกตุคนเดินเท้า v}}$$

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจาก นายประสิทธิ์ จึงสงวนพรสุข พบว่าการเข้ามาของคนเดินเท้าที่บริเวณรบกวนมีความถี่ (Frequency) เป็นแบบ Poisson ดังนี้

$$Pv = \frac{m.e^{v}{}^{-m}}{V!}$$

โดย m = อัตราเฉลี่ยของจำนวนคนเดินเท้าต่อรอบเวลาสัญญาณไฟ (Walk)

Pv = โอกาสของการเกิด (Probability of Occurrence)

v = จำนวนคนเดินเท้าต่อรอบเวลาสัญญาณ

ดังนั้นโอกาสที่ยวดยานจะถูกรบกวนจากอัตราเฉลี่ยของจำนวนคนเดินเท้าต่อรอบสัญญาณไฟ (Pm,t) จะได้

$$Pm,t = \sum_{\gamma=0}^{\infty} Pv.Pv,t$$

จากสมการดังกล่าวข้างต้นสามารถนำไปสร้างความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปของกราฟได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนคนดดินเท้าต่อชั่วโมงกับโอกาสที่ยวดยานจะถูกรบกวนจากคนเดินเท้าในขณะสัญญาณไฟเขียว (Walk) นำมาหาการกระจายของ Log Normal แล้วสร้างความสัมพันธ์ลงบนกระดาษ Log Normal ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 จากความสัมพันธ์ที่แสดงในรูปที่ 3.10 ถ้ากำหนดค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของการกระจายของ Log Normal จะได้ค่าเบี่ยงเบนปกติ (Unit Normal Deviation), Z ซึ่งมีลักษณะเป็นโอกาสของการกระจายที่จุดใด ๆ ของกราฟนี้

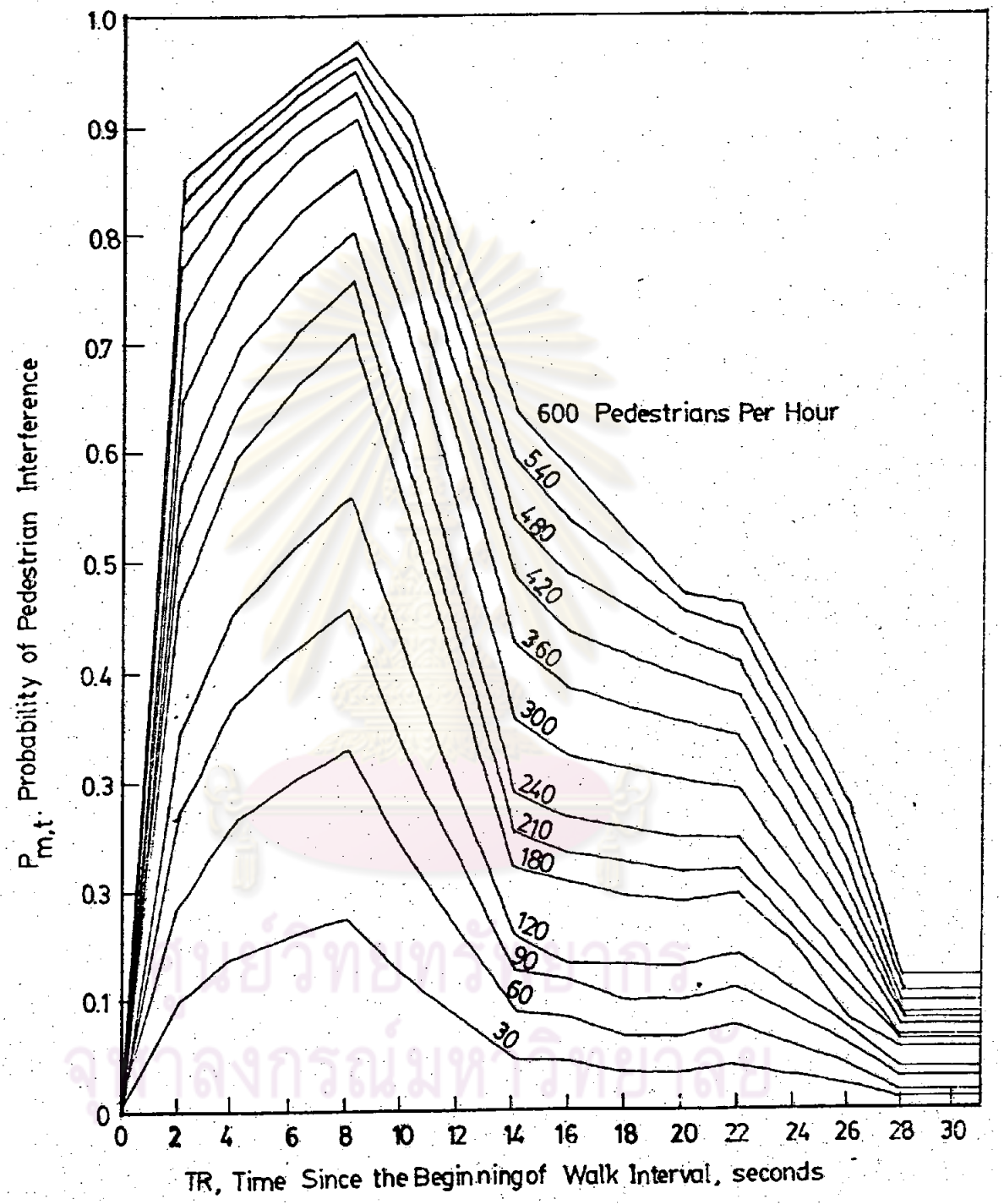
ถ้าให้ยวดยานที่ถูกรบกวนจากคนเดินเท้า อยู่ในรูปของการกระจาย Log Nor-

โดย

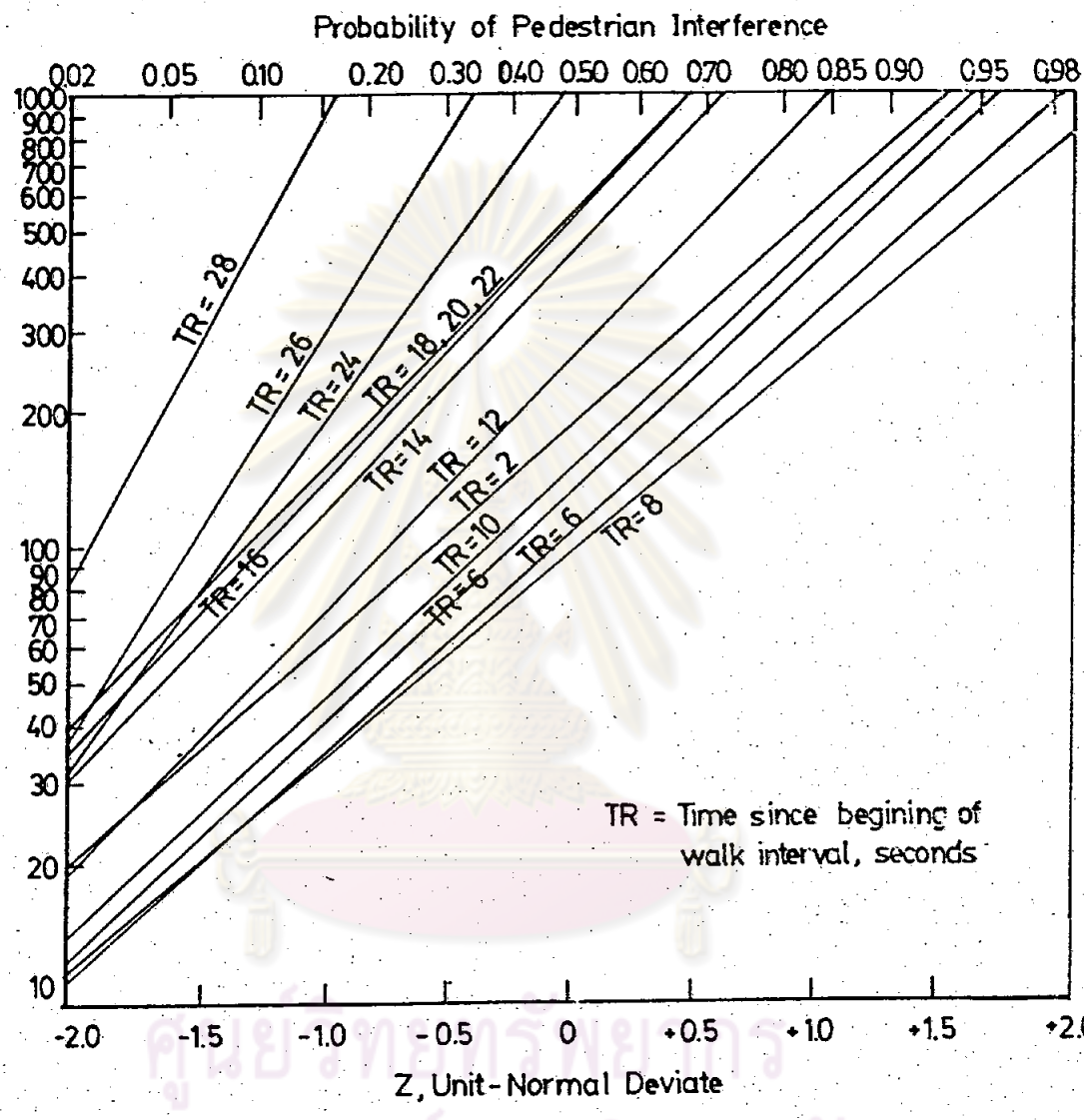
LOGPV = ค่าเฉลี่ยของการกระจาย log normal

= $\log_{10}$ ของจำนวนคนเดินเท้า ที่ 50% จะรบกวน (Z=0)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๓.๑ โอกาสยวดยานจะถูกรบกวนสัมพันธ์กับคนเดินเท้าและเวลาอ้างอิง



รูปที่ 3.10 การกระจายของ Log Normal

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SIGLPV = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจาย log normal

= $\log_{10}$ ของจำนวนคนเดินเท้า ที่ 50% จะรบกวน (Z=0)

ลบด้วย $\log_{10}$ ของจำนวนคนเดินเท้าที่ 15.9% จะรบกวน

(Z=-1)

ดังนั้น $ZP = \frac{\log_{10}PV-LOGPV}{SIGLPV}$

โดย ZP = ค่าเบี่ยงเบนปกติ หรือโอกาสที่ยวดยานจะถูกรบกวนจากคนเดินเท้า

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำไปสร้างความสัมพันธ์ร่วมกับเวลาอ้างอิง,TR (Time Reference) ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งจะได้สมการดังต่อไปนี้

1. ถ้า TR<8 จะได้

LOGPV = 2.32-0.042 TR

SIGLPV = 0.48

2. ถ้า 8<TR<14 จะได้

LOGPV = 1.98+0.113 (TR-8)

SIGLPV = 0.48+0.015 (TR-8)

3. ถ้า 14<TR<22 จะได้

LOGPV = 2.66+0.0125 (TR-14)

SIGLPV = 0.57

4. ถ้า 22<TR<28 จะได้

LOGPV = 2.76+0.147 (TR-22)

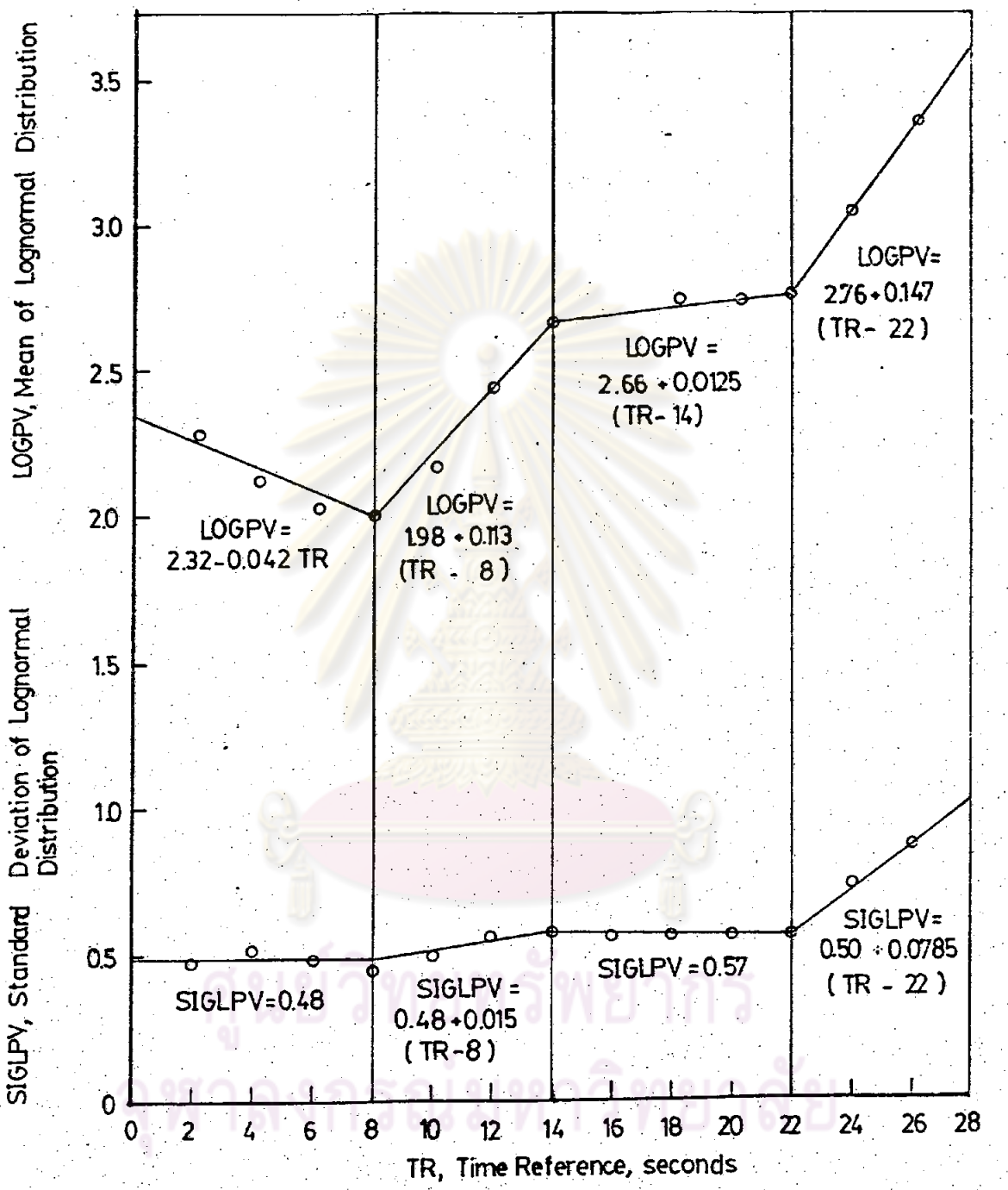
SIGLPV = 0.57+0.0785 (TR-22)

5. ถ้า TR>28 จะได้

LOGPV = 4.00

SIGLPV = 1.20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายของ Log Normal กับเวลาอ้างอิง

จากการศึกษาดังกล่าวนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการปรับปรุงแบบจำลองวิเคราะห์การรบกวนของคนเดินเท้า (Pedestrian Interference) ในขบวนการ Simulation โดยให้

PVCH = อัตราเฉลี่ยของจำนวนคนเดินเท้าต่อชั่วโมง ที่ข้ามถนนบริเวณทางแยกในขณะสัญญาณไฟเขียว (walk)

TR = เวลาอ้างอิง ตั้งแต่เริ่มสัญญาณไฟเขียว (walk)

สามารถคำนวณหาค่าต่าง ๆ จากสมมติฐานดังกล่าวได้ดังนี้

ก. สามารถหาค่าของช่วงเวลาของ TR, LOGPV และ SIGLPV

ข. หาค่าโอกาสที่ยวดยานจะถูกรบกวนจากคนเดินเท้า จากสมการ

$$ZP = \frac{\log_{10} PVCH_i - LOGPV}{SIGLPV}$$

ค. หาค่า random จากค่าความเบี่ยงเบนปกติ, ZR จากสมการ

$$ZR = \{\sum_{i=1}^{12} RN_i\} - 6$$

ง. เปรียบเทียบค่าระหว่าง ZP กับ ZR เพื่อหาผลกระทบของคนเดินเท้า โดย

ถ้า ZR<ZP

ยวดยานจะถูกรบกวนจากคนเดินเท้า (interference exit)

ถ้า ZR>ZP

ยวดยานจะไม่ถูกรบกวนจากคนเดินเท้า (interference exit)

3.8 <u>การเลี้ยวซ้ายของยวดยานในขณะได้สัญญาณไฟแดง หรือเลี้ยวซ้ายผ่านตลอด</u> (Left Turn On Red)

ที่บริเวณทางแยกสัญญาณไฟบางแห่งจะอนุญาติให้ยวดยานสามารถเลี้ยวซ้ายได้ขณะได้รับสัญญาณไฟแดง ขณะเดียวกันก็จะมีกลุ่มยวดยานที่ได้สัญญาณไฟเขียวจากอีกด้านหนึ่งต้องการจะผ่านไปทางตรง, เลี้ยวขวา, เลี้ยวซ้าย หรือเลี้ยวทแยง พฤติกรรมของยวดยานดังกล่าวจะก่อให้เกิดการขัดขวางซึ่งกันและกัน (Conflict) แบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ

ก. การเคลื่อนที่ของยวดยานแบบไม่ขัดขวาง ดังแสดงในรูปที่ 3.12

ข. การเคลื่อนที่ของยวดยานแบบขัดขวาง ดังแสดงในรูปที่ 3.12

จากการศึกษาการเคลื่อนที่ของยวดยานในกรณีที่ 1 จะไม่กีดขวางการจราจรในช่องทางอื่น ๆ และไม่มีผลกระทบใด ๆ แก่กันและกัน ยวดยานสามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่เกิดความล่าช้า (Delay) ในแต่ละทิศทาง แต่การเคลื่อนที่ของยวดยานในกรณีที่ 2 จะก่อให้เกิดความล่าช้า เพราะยวดยานเลี้ยวซ้ายขณะสัญญาณไฟแดงจะไปขัดขวางกับยวดยานที่ต้องการเคลื่อนที่ผ่านทางตรงในอีก Link หนึ่ง ซึ่งโดยปกติผู้ขับขี่ยวดยานที่ต้องการเลี้ยวซ้ายในขณะสัญญาณไฟแดง จะต้องรอโอกาสช่วงว่าง (Gap Acceptance) ที่สามารถเลี้ยวซ้ายผ่านไปได้อย่างปลอดภัย

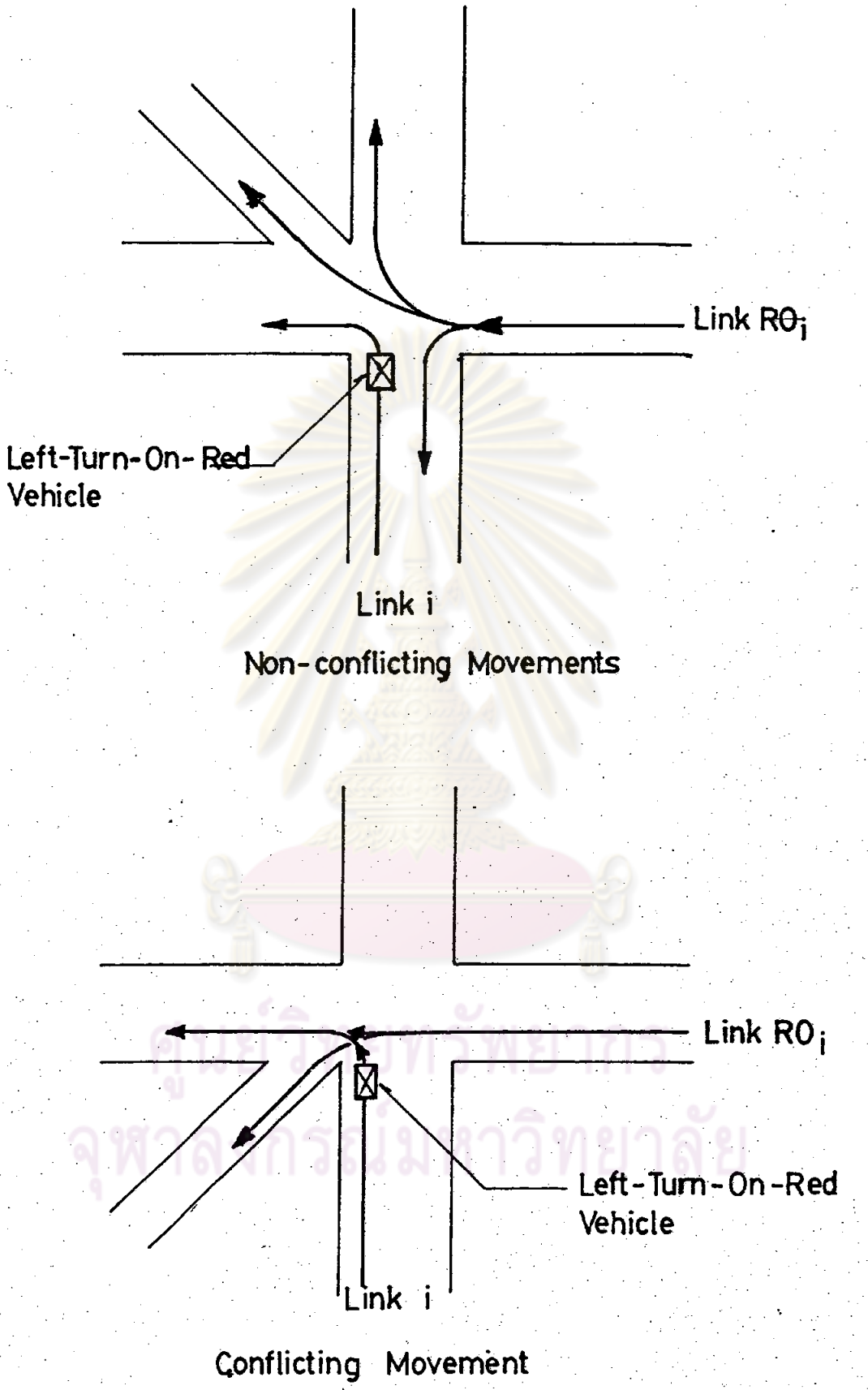
3.9 พฤติกรรมการเลี้ยวขวาของยวดยาน

ที่บริเวณทางแยกสัญญาณไฟ กลุ่มยวดยานที่ได้รับสัญญาณไฟเขียว จะประกอบด้วยยวดยานที่ต้องการผ่านไปทางตรง, เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวา และเลี้ยวทแยง หากมีพฤติกรรมของยวดยานดังกล่าวอาจก่อให้เกิดปัญหากับยวดยานอีกด้านหนึ่ง ซึ่งจะขัดขวางซึ่งกันและกันได้ แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

1. การเคลื่อนที่ของยวดยานแบบไม่ขัดขวาง (non conflicting movement) ดังแสดงในรูปที่ 3.13

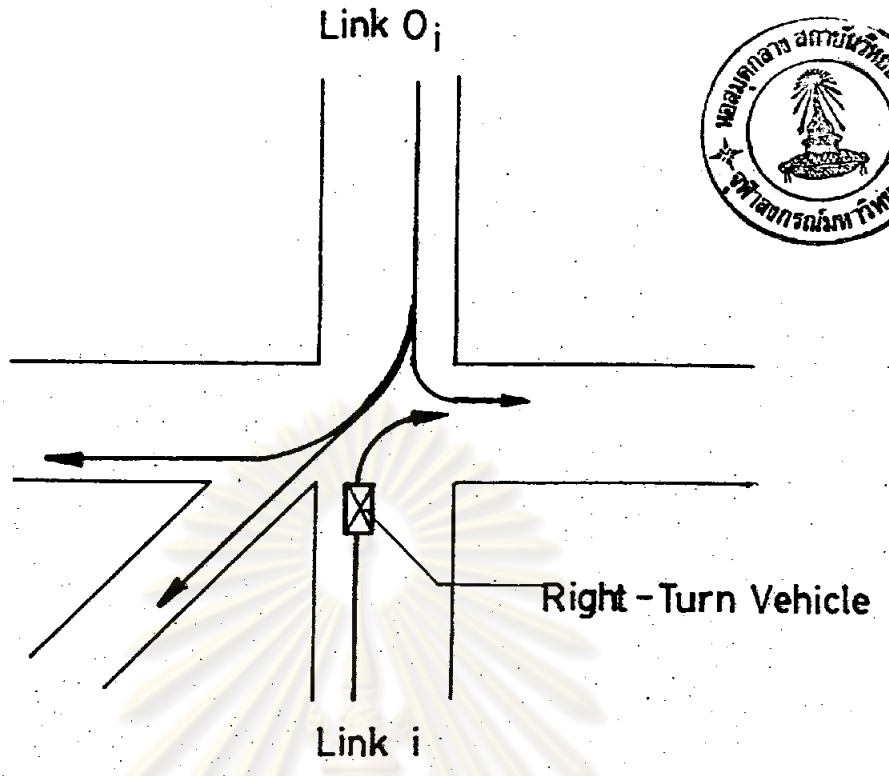
2. การเคลื่อนที่ของยวดยานแบบขัดขวางซึ่งกันและกัน (conflicting movement) ดังแสดงในรูปที่ 3.13

จากการศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่แบบขัดขวางซึ่งกันและกัน ซึ่งโดยปกติจะต้องให้ยวดยานที่ต้องการไปทางตรงผ่านก่อน แล้วยวดยานที่ต้องการเลี้ยวขวาจะรอช่วงเวลาว่าง (Gap Acceptance) เพื่อที่จะเลี้ยวขวาผ่านไปได้อย่างปลอดภัย ซึ่งสามารถแทนด้วยสมการเส้นตรงของเส้นสัมผัสกับเส้นโค้งระหว่างโอกาสที่ยอมรับ (Probability Acceptance) กับระยะเวลาของช่วงว่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.14 เพื่อที่จะหาระยะเวลาช่วงว่าง

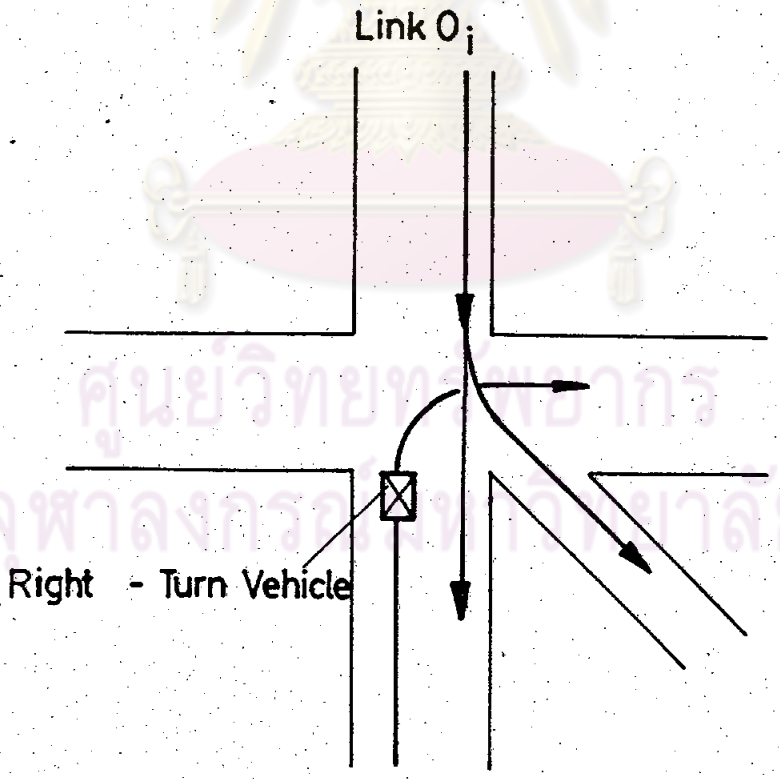


รูปที่ 3.12 พฤติกรรมการเลี้ยวซ้ายของยวดยานขณะสัญญาณไฟแดง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



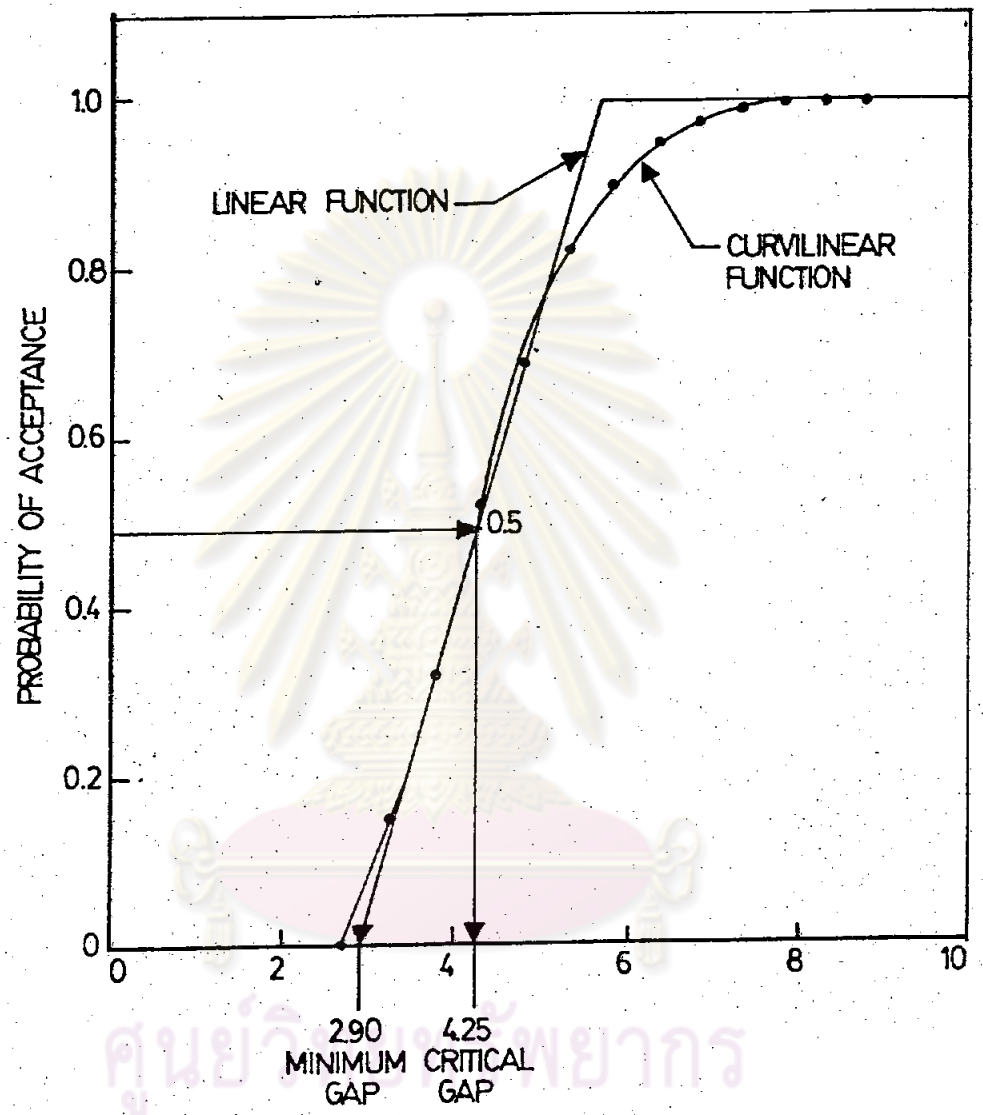
Non-conflicting Movements



Conflicting Movement

รูปที่ 3.13 พฤติกรรมการเลี้ยวขวาของยวดยาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.14 ช่วงว่างที่ยอมรับของการเลี้ยวขวา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่น้อยสุด (Minimum Gap) และช่วงวิกฤติ (Critical Gap) ที่ยวดยานสามารถเลี้ยวขวาผ่านไปได้อย่างปลอดภัย

3.9.1 การเคลื่อนที่เป็นกลุ่มของยวดยานและการกระจายของกลุ่ม (Platoon Dispersion)

การเคลื่อนที่ของยวดยานเมื่อออกจากสัญญาณไฟใหม่ ๆ จะมีลักษณะเป็นกลุ่ม แต่เมื่อออกผ่านไประยะหนึ่งจะกระจายตัวออกจากกัน ในแบบจำลองแรกเริ่มได้พิจารณาระยะทางระหว่างทางแยกที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000 ฟุต การเคลื่อนที่ของกลุ่มยวดยานจะไม่มีการกระจายใด ๆ แต่จะมีความผันแปรขึ้นอยู่กับปริมาณยวดยานและความเร็วของยวดยานแต่ละคัน ในกรณีที่ช่วงระหว่างทางแยกห่างจากกันเกินกว่า 1,000 ฟุต กลุ่มการจราจรจะมีการกระจาย (Platoon Dispersion) ซึ่งเมื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกลุ่มยวดยาน พบว่าจะมีผลกระทบกับการกำหนดรอบเวลาและจังหวะเวลาของสัญญาณไฟ

สมมติฐานที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของกลุ่มยวดยานในลักษณะที่มีการกระจาย คือ

ก. ค่าความผันแปรความเร็วของยวดยานแต่ละคัน

ข. พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของยวดยานแต่ละคัน

ค. ความปลอดภัยในกลุ่มของยวดยาน

จากการศึกษาของ Potts (.18) เพื่อสร้างสมมติฐานขึ้นใช้ในขบวนการ Simulation ทั้งในทางทฤษฎีและจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากสภาพจริง ซึ่งได้สร้างสมมติฐานขึ้นดังนี้

ก. ความเร็วของยวดยานแต่ละคันจะมีการกระจายแบบปกติ (normal distribution)

ข. ความเร็วของยวดยานแต่ละคันอาจกำหนดให้มีค่าคงที่ตลอดระยะระหว่างทางแยกสัญญาณไฟ (link)

ค. ความเร็วของยวดยานแต่ละคันจะไม่ขึ้นกับตำแหน่งของยวดยานที่อยู่ในกลุ่ม (platoon)

การศึกษาพฤติกรรมของกลุ่มยวดยาน โดยใช้ปริมาณจราจรเป็นหลัก พบว่า พารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ ค่าคงที่ของการกระจาย (Diffusion Constant) และสัมประสิทธิของการผันแปร (Coefficient of Variation), a_s

$$a_s = \frac{\text{ค่าความเบี่ยงเบนปกติของความเร็วยวดยาน}}{\text{ความเร็วเฉลี่ย}}$$

ในการปรับปรุงคอมพิวเตอร์โปรแกรม การเคลื่อนที่ของกลุ่มยวดยาน ในขบวนการ Simulation จะอาศัยสมมติฐานดังต่อไปนี้

1. ในแต่ละ network link จะประกอบด้วย ค่าความเร็วเฉลี่ย (mean running speed) si, ค่าความเบี่ยงเบนปกติของความเร็ว (standard deviation of running speed) (si) และโอกาสที่ยวดยานไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ (no passing probability) NP_i

2. ความเร็วสูงสุดและต่ำสุดของยวดยานแต่ละคัน จะมีค่าไม่เกิน $S_i+3\sigma_{si}$ และ $S_i-3\sigma_{si}$ ตามลำดับ

3. ในคอมพิวเตอร์โปรแกรมจะสร้าง dummy zone ไว้ที่ท้ายสุดของ network link เพื่อบรรจุยวดยานที่เคลื่อนที่ช้ากว่ากลุ่มยวดยานอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.3

4. การเคลื่อนที่ของยวดยานแต่ละคันผ่านระหว่างทางแยกไปยัง zone ท้ายสุดของ destination link พฤติกรรมต่าง ๆ แบ่งออกเป็น

- ค่าความเบี่ยงเบนปกติ, Z จะถูก generate แบบ random เพื่อการคำนวณหาความเร็วของยวดยาน (running speed), si ซึ่ง

$$Si = Si+Z\sigma_{si}$$

โดย $Si-3\sigma_{si}<Si<S+3<_{si}$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ความผันแปรของความเร็วของยวดยานแต่ละคัน ซึ่งได้จากการเคลื่อนที่ของยวดยานแต่ละคันผ่านไปในแต่ละ zone ด้วยความเร็วที่อาจจะเร็วกว่าหรือช้ากว่าความเร็วเฉลี่ยต่อหนึ่งรอบเวลา Simulation ระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับจำนวน target zone, TZ

$$TZ = \frac{3600Lit}{5280Si} + \frac{1}{2}$$

โดย Li = ความยาวของ link (link length), ฟุต

t = รอบเวลา Simulation (simulation scan cycle), วินาที

Si = ความเร็วของยวดยาน (running speed) ไมล์ต่อชั่วโมง

$\{\frac{1}{2}\}$ = TZ = 1

- ค่า random number, RN จะถูก generate ตั้งแต่ 0 ถึง 1 เพื่อเปรียบเทียบหาโอกาสที่ยวดยานไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ (no passing probability), NPI_i

ถ้า $RN<NPI_i$ ยวดยานไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านยวดยานอื่นไปได้

ถ้า $RN>NPI_i$ ยวดยานสามารถเคลื่อนที่ผ่านยวดยานอื่นไปได้อย่างอิสระ

- ในกรณีที่ยวดยานสามารถเคลื่อนที่ผ่านยวดยานอื่นได้อย่างอิสระ ไปยัง target zone นอกจากกรณีที่ภายใน zone นั้นอยู่ในสภาพเต็มที่ความจุ (moving capacity)

- ในกรณีที่ยวดยานไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านยวดยานอื่นไปได้ โปรแกรมจะสร้าง dummy zone เพื่อบรรจุยวดยานดังกล่าว จนกระทั่งยวดยานเหล่านั้นสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.10 การออกตัวของคิว (Queue Discharge)

การเคลื่อนที่ของยวดยานผ่านทางแยกสัญญาณไฟ ในแต่ละช่องทางบนแต่ละ Link จะเริ่มขึ้นด้วยเมื่อเริ่มสัญญาณไฟเขียว โดยการเปรียบเทียบจำนวนยวดยานในแต่ละช่องทางของ Zone หน้าสุดของ Link กับจำนวนยวดยานที่อาจจะบรรจุใน Zone นั้นได้ทั้งหมด ในกรณีที่มีค่ามากกว่า จะเป็นการเคลื่อนแบบคิว (Queue State) และในกรณีที่มีค่าน้อยกว่า จะเป็นการเคลื่อนที่แบบอิสระ (Free Flow State)

ในกรณีที่มีการเคลื่อนที่แบบคิว จำนวนยวดยานที่สามารถเคลื่อนที่ไปได้ จะถูกกำหนดจากตารางการไหลอิ่มตัว ซึ่งค่าต่าง ๆ ในตารางนี้หาได้มาจากอัตราการไหลอิ่มตัว (Saturation Flow Rate) และระยะเวลาสูญเสีย (Lost Time) ในแต่ละรอบเวลา Simulation ช่วงตลอดระยะเวลาสัญญาณไฟเขียว จำนวนยวดยานที่อยู่ใน Zone หน้าสุดของแต่ละช่องทางก็จะถูกตรวจสอบและเปรียบเทียบกับค่าในตารางการไหลอิ่มตัวจนกว่าจะพบ ในกรณีที่มีค่าน้อยกว่า ซึ่งในช่วงนั้นยวดยานจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้แบบอิสระ โดยทั่ว ๆ ไปการเคลื่อนที่แบบคิวอาจเกิดขึ้นที่ด้านหลังของยวดยานที่หยุดรอบริเวณช่องทางเลี้ยวซ้ายหรือช่องทางเลี้ยวขวา อันเนื่องมาจากยวดยานเลี้ยวขวาถูกรบกวน (Right Turn Interference), ยวดยานถูกรบกวนจากคนเดินเท้า (Pedestrian Interference) และ Destination Link ที่การไหลอิ่มตัว (Saturation Flow)

ในกรณีที่ยวดยานสามารถเคลื่อนที่ได้แบบอิสระ จำนวนยวดยานที่เคลื่อนที่ผ่านไปได้จะเท่ากับความจุ (Capacity) ของแต่ละช่องทางใน Zone หน้า ซึ่งในบางครั้งจำนวนยวดยานสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้หมดในหนึ่งรอบเวลาของขบวนการ Simulation ซึ่งอาจจะมากกว่าสภาพที่เป็นจริง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างโปรแกรมย่อย เพื่อตรวจสอบจำนวนยวดยาน เพื่อใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของยวดยานแบบอิสระผ่านทางแยกสัญญาณไฟ

3.11 <u>การแสดงผล</u> (Output)

การแสดงผลที่ได้จากขบวนการ Simulation ในแต่ละรอบเวลา เพื่อให้ทราบว่าคุณลักษณะการเคลื่อนที่ของยวดยาน และความล่าช้า (Delay) ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Link ของโครงข่ายถนนที่ต้องการวิเคราะห์ จะแสดงผลในรูปของสถิติเพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบค่าดังกล่าวกับข้อมูลจากสภาพจริงที่ได้จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นจากสนาม โดยคุณลักษณะที่สำคัญ ๆ มีดังต่อไปนี้

1. การเคลื่อนที่ของยวดยาน $= \frac{(M_i)(Z_i)}{5280}$ vehicle-mile

โดย M_i = จำนวนยวดยานที่เคลื่อนที่ใน link i

Z_i = จำนวน zone ของ link i

2. ความเร็วเฉลี่ย (average attained speed) $= \frac{M_i}{M_i+D_i} S_i$ ไมล์/ชม.

โดย D_i = ความล่าช้าที่เกิดใน link i

S_i = ความเร็วอิสระ, ไมล์ต่อชั่วโมง

3. ความหนาแน่นเฉลี่ย (average density) = จำนวนยวดยานเฉลี่ยต่อช่องทางต่อไมล์

$$= \frac{5280(M_i+D_i)}{\psi W_i L_i}$$

โดย ψ = เวลา observe time, scan interval, วินาที

W_i = จำนวนช่องทางจราจร (lane)

L_i = ความยาวของ link, ไมล์

4. ปริมาณการจราจร (traffic volume) = จำนวนยวดยานเฉลี่ยต่อชั่วโมง

$$= \frac{3600\ \theta}{\psi t}$$ คัน/ชม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย θ = M_i สำหรับ input link / M_i สำหรับ network link / $\frac{M_i}{N_i}$

t = Scan Time ,วินาที

5. ความล่าช้าเฉลี่ยต่อยวดยาน (average/vehicle) = $\frac{D_i}{\theta}$ t วินาที/คัน

ในกรณีที่เป็น Network Link จะอาศัยสมการความสัมพันธ์ของการจราจร โดยใช้ค่าเฉลี่ย (average content method) ดังต่อไปนี้

ให้ i = ลำดับของ link

$\bar{C}_i$ = จำนวนยวดยานเฉลี่ย (average content), คัน

V_i = ปริมาณการจราจร (traffic volume), คัน/ชม.

RS_i = ความเร็วเฉลี่ยของยวดยาน (average running speed) ไมล์/ชม.

L_i ความยาวของ link (length of link),ไมล์

t เวลาที่ใช้ในการพิจารณา (observation period) ชม.

1. เวลาที่ใช้ในการเดินทางเฉลี่ยโดยไม่เกิดความล่าช้า (average running travel time), $\overline{RTT}_i$

$$\overline{RTT}_i = \frac{3600\ L_i}{RS_i} \text{ วินาที}$$

2. จำนวนยวดยาน-ไมล์ (vehicle-mile), VM_i

$$VM_i = t\ V_i L_i \text{ คัน-ไมล์}$$

3. เวลาในการเดินทางทั้งหมด (total travel time),ใน link i, TT_i

$$TT_i = 3600\ t\ \bar{C}_i \text{ คัน-วินาที}$$

4. เวลาในการเดินทางเฉลี่ยต่อคัน (average travel time per vehicles), $\overline{TT}_i$

$$\overline{TT}_i = \frac{TT_i}{tV_i} = \frac{3600\ \bar{C}_i}{V_i}$$

5. เวลาในการเดินทางเฉลี่ยต่อคันต่อไมล์ (average travel time per vehicle-mile), $TPVM_i$

$$TPVM_i = \frac{TT_i}{VM_i} = \frac{3600\ \bar{C}_i}{V_i L_i}$$

6. ความล่าช้าเฉลี่ยต่อคัน (average delay per vehicle), $\bar{D}_i$

$$\bar{D}_i = \bar{TT}_i - \bar{RTT}_i \quad \text{วินาที}$$

7. ความล่าช้าทั้งหมด (total delay), D_i

$$D_i = tV_i\bar{D}_i \quad \text{วินาที/คัน}$$

8. ความล่าช้าเฉลี่ยต่อคันต่อไมล์ (average delay per vehicle-mile), $DPVM_i$

$$DPVM_i = \frac{D_i}{VM_i} \quad \text{วินาที/ไมล์}$$

9. ความเร็วเฉลี่ย (average speed), $\bar{S}_i$

$$\bar{S}_i = \frac{3600\ VM_i}{TT_i} = \frac{VM_i}{t\bar{C}_i} = \frac{V_i L_i}{\bar{C}_i} \quad \text{ไมล์/ชม.}$$

ในการแสดงผลรวมทั้งหมดของแต่ละ Link หรือ Network จะได้

10. $\bar{C} = \Sigma\bar{C}_i$

11. $VM = \Sigma VM_i$

12. $TT = \Sigma TT_i$

13. $TPVM = \frac{TT}{VM} = \frac{\Sigma TT_i}{\Sigma VM_i}$

14. $D = \Sigma D_i$

15. $DPVM = \frac{D}{VM} = \frac{\Sigma D_i}{\Sigma VM_i}$

16. $\bar{S} = \frac{3600\ VM}{TT} = \frac{3600\ \Sigma VM_i}{\Sigma TT_i}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย