บทที่2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

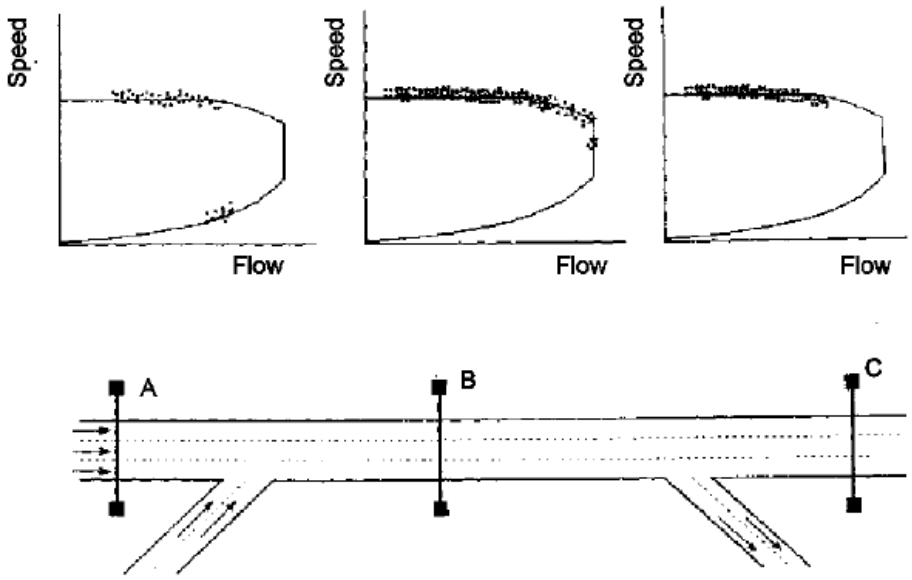
เนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วยผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Carlos F. Daganzo ได้ทำการศึกษาเรื่อง Remarks on Traffic Flow Modeling and its Applications โดยได้เสนอข้อสังเกตเกี่ยวกับพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกระแสจราจรได้หลายหัวข้อ อาทิ ข้อสังเกตเกี่ยวกับเรื่องถนนที่เป็นคอขวดในแบบต่างๆ (Bottleneck), บริเวณที่เกิดจุดขัดแย้งแบบร่วมกัน (Merge), บริเวณที่เกิดจุดขัดแย้งแบบแยกจากกัน (Diverge) และ ฯลฯ ซึ่งในท้ายที่สุดผู้ศึกษาได้ให้แนวคิดเกี่ยวกับแบบจำลองทางการจราจรไว้หลายประเด็น อาทิ

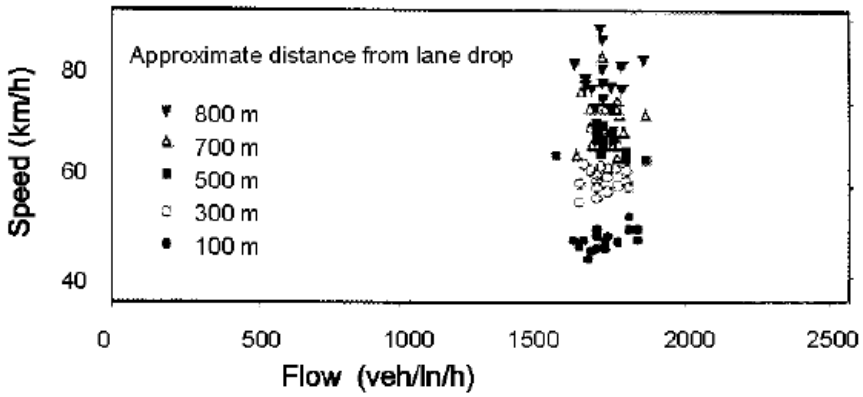
- It seems that models cannot be expected to provide precise (or even reasonable) predictions on a link by link basis for large congested networks. Therefore, it seems rather fruitless to base system control procedures (for congested systems) on model predictions.
- Nonetheless, models can perhaps play some role in an evaluation process. If one decides for example, that traffic into the central part of a city should be metered (so as to prevent crowding), it may be reasonable to use a ***simple and reasonable*** traffic model to predict the ***overall*** effects of the strategy in the city center. Of course, those predictions would still have to be taken with a “grain of salt”.

Fled L. Hall (1975) ศึกษาตำแหน่งสำหรับสำรวจข้อมูลบนถนนแต่ละช่วงจะให้ผลที่แตกต่างกัน ดังตัวอย่างถนนในรูปที่ ซึ่งตำแหน่ง A เป็นตำแหน่งของถนนก่อนถึงทางแยกที่รับปริมาณการจราจรเข้า ตำแหน่ง B เป็นตำแหน่งระหว่างทางแยกที่รับปริมาณการจราจรเข้าและทางแยกที่กระจายปริมาณการจราจรออก และ ตำแหน่ง C เป็นตำแหน่งหลังจากการกระจายปริมาณการจราจรออก



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วและอัตราการไหลของ Fled L. Hall

ผลการศึกษาพบว่า ตำแหน่ง A พาหนะจะมีพฤติกรรมทั้งแบบการไหลแบบไม่ติดขัด (Uncongested Flow) และ การไหลแบบติดขัด (Congested Flow) เนื่องจากลักษณะของถนนที่เป็นคอขวด (Bottleneck) พาหนะทางตรงบางส่วนต้องหยุดรอให้พาหนะที่กำลังเข้าสู่ทางตรง ทำให้เกิดแถวคอยได้ (Traffic Delay) ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปด้านซ้ายมือที่มีข้อมูลทั้งด้านบนและด้านล่างของความสัมพันธ์ การสำรวจข้อมูลตำแหน่งนี้เพียงแห่งเดียวจะไม่สามารถหาค่าความจุของถนนได้ (Road Capacity) ตำแหน่ง B จัดเป็นช่วงการไหลไม่ติดขัดทั้งแนว (Full uncongested range) โดยพิจารณาได้จากรูปตรงกลาง พบว่ามีข้อมูลเฉพาะด้านบนเท่านั้น แต่พฤติกรรมของการเคลื่อนที่ในช่วงนี้อาจพิจารณาได้เป็นช่วงที่กระจายประมาณการจราจรออกจากแถวคอย (Queue discharge) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วและอัตราการไหลในช่วงนี้แสดงดังรูปที่ การสำรวจข้อมูลบริเวณนี้จะนำไปสู่การหาค่าความจุของถนนได้



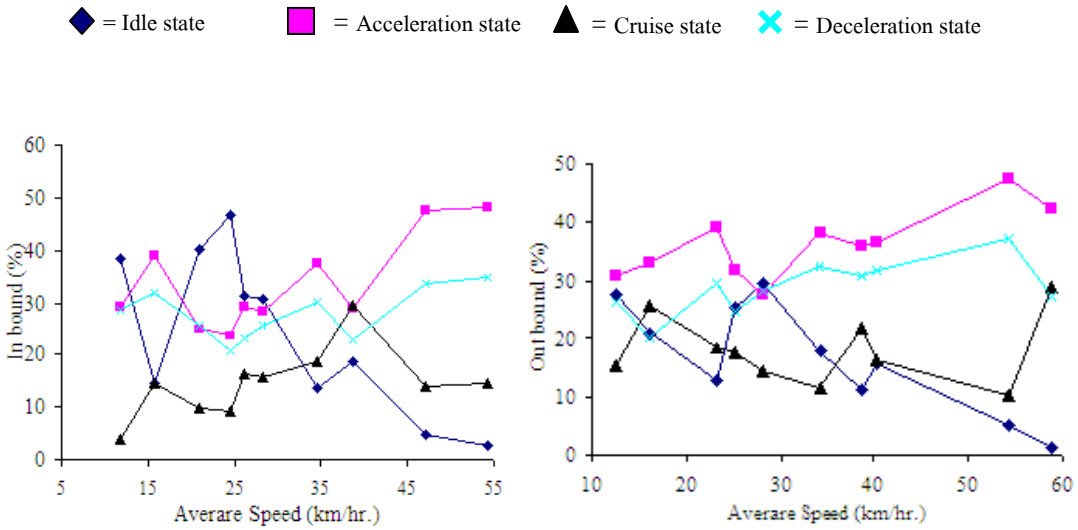
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วและอัตราการไหลในช่วงที่กระจายแถวคอยที่เปลี่ยนแปลงตามระยะทาง

ตำแหน่ง C เป็นตำแหน่งหลังจากมีการกระจายปริมาณการจราจรออกจากถนนทางตรง ซึ่งถ้าปริมาณการจราจรที่กระจายออกจากถนนทางตรงมีจำนวนมาก ค่าอัตราการไหลในตำแหน่ง C ก็จะมีค่าน้อยกว่าในตำแหน่ง B ทำให้หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วและอัตราการไหลในช่วงไม่ติดขัดได้เท่านั้น แต่ไม่สามารถนำข้อมูลไปหาค่าความจุของถนนได้

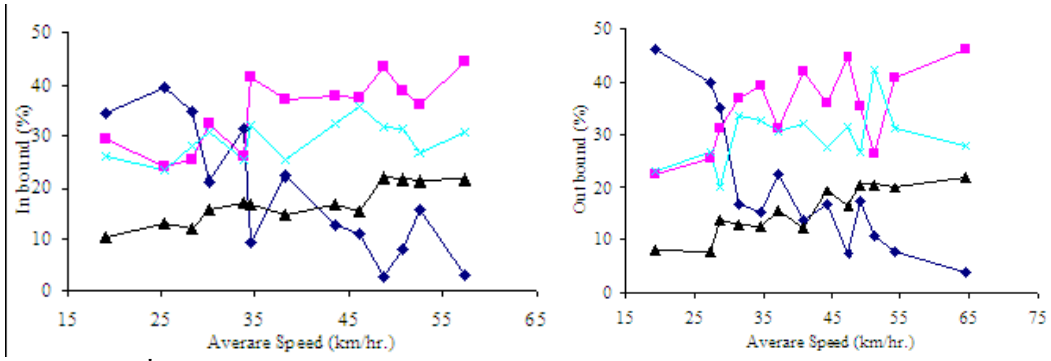
โครงการศึกษาปัญหาด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมของจังหวัด ด้านระบบคมนาคมและขนส่งในจังหวัดสมุทรปราการ (2549) ได้วิเคราะห์ศักยภาพของถนนศรีนครินทร์ในช่วงปีพ.ศ.2549 ซึ่งมีค่าอัตราส่วน V/C ประมาณ 0.50 ไว้ว่าเนื่องจากช่วงดังกล่าวมีการก่อสร้างทางแยกต่างระดับบนถนนศรีนครินทร์จำนวน 3 แห่งทำให้ปริมาณการจราจรติดขัดมากเป็นผลให้พาหนะเคลื่อนที่ผ่านจุดอ้างอิงได้น้อยทำให้ค่าอัตราส่วน V/C ต่ำ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของกระแสจราจรในช่วงที่ติดขัด (Congested Flow)

ชิษณุ อัมพรายน์ และ วัฒนวงศ์ รัตนวราห (2547) ได้ทำการเปรียบเทียบรูปแบบการดำเนินการของพาหนะบนถนนลาดพร้าวและบนถนนแจ้งวัฒนะ ดังแสดงในรูปที่ และรูปที่ ตามลำดับ พบว่า ถ้าอัตราเร็วเฉลี่ยบนถนนลาดพร้าวและแจ้งวัฒนะมีค่าต่ำประมาณ20-30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การดำเนินการของพาหนะใน1รอบจะมีสัดส่วนของ พาหนะหยุดนิ่ง เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่ง เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ และ เคลื่อนที่ด้วยอัตราหน่วง ร้อยละ 35, 30, 10 และ 25 ตามลำดับ แต่ถ้าอัตราเร็วเฉลี่ยบนถนนทั้งสองมีค่าสูงขึ้นเป็น 50-60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะมีสัดส่วนของพาหนะหยุดนิ่ง เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่ง เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ และ เคลื่อนที่ด้วยอัตราหน่วง ร้อยละ 5, 45, 20 และ 30 ตามลำดับ การดำเนินการใน1รอบของพาหนะเมื่อมีอัตราเร็วเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ

พบว่าจะมีสัดส่วนของ พาหนะหยุดนิ่ง และพาหนะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งมากที่สุด แต่ถ้าพาหนะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยค่อนข้างสูงพบว่าจะมีสัดส่วนของ พาหนะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่งมากที่สุด และพาหนะเคลื่อนที่ด้วยอัตราหน่วงรองลงมา การศึกษานี้สรุปได้ว่าถนนสายหลักที่มีจุดเข้าสู่พื้นที่ข้างทางได้สะดวกตลอดเส้นทางทำให้พาหนะต้องเร่งและชะลอตัวตลอดเวลาที่ขับขี่ถึงแม้จะมีค่าอัตราเร็วเฉลี่ยสูงขึ้นก็ตาม ซึ่งการศึกษาดังกล่าวก็ยังไม่มีการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วและปริมาณการจราจร



รูปที่ ลักษณะการดำเนินการบนถนนลาดพร้าว ขาเข้าและขาออก ตามลำดับ



รูปที่ 2.3 ลักษณะการดำเนินการบนถนนแจ้งวัฒนะ ขาเข้าและขาออก ตามลำดับ

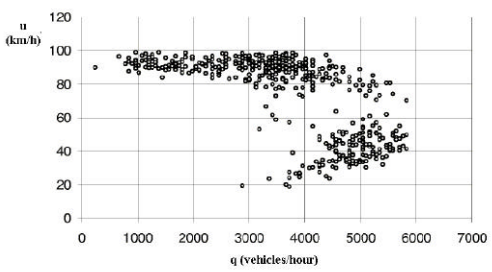
ชิษณุ อัมพรายน์ (2549) ได้ทำการศึกษาระบบถนนโครงข่ายภายในชุมชน โดยมีถนนโครงข่ายในพื้นที่ชุมชนชายแดนแม่สายเป็นตัวแทนหนึ่งของการวิเคราะห์พบว่าในวันหยุดยาวถนนพหลโยธิน ถนนเหมืองแดง ถนนเลียบคลองชลประทาน และถนนป่ายางมีค่าอัตราส่วน V/C เท่ากับ 0.5, 0.43, 0.16 และ 0.13 ตามลำดับ และผลการสำรวจอัตราเร็วในการเดินทางบนถนนพหลโยธิน

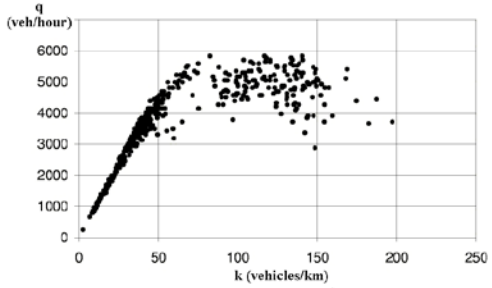
พบว่ามีค่าประมาณ 5-10 กิโลเมตรต่อชั่วโมงทำให้สามารถสรุปได้ว่าถนนพหลโยธินมีการเคลื่อนที่ของกระแสจราจรแบบติดขัด (Congested Flow) แต่บนถนนเหมืองแดงซึ่งมีค่าอัตราส่วน V/C ใกล้เคียงกับถนนพหลโยธินไม่มีข้อมูลอัตราเร็วประกอบเนื่องจากขาดงบประมาณในการสำรวจทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าการที่ค่าอัตราส่วน V/C น้อยนั้นอยู่ในช่วงกระแสจราจรคล่องตัวหรือกระแสจราจรติดขัด

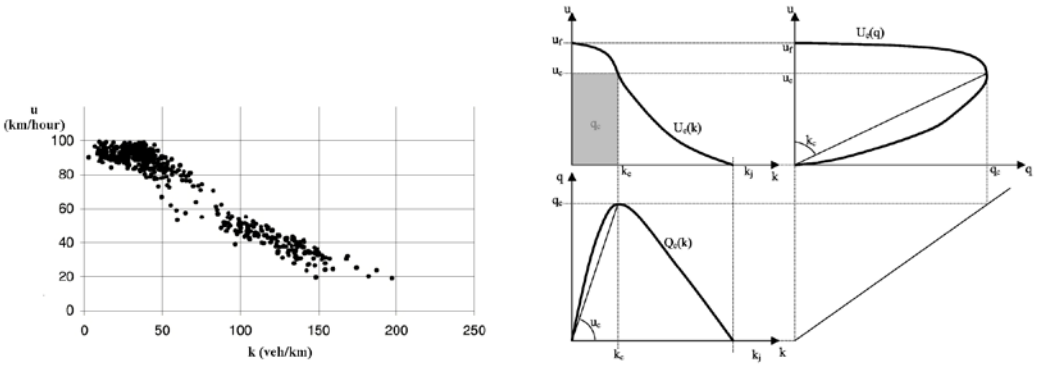
นอกจากนั้นการประยุกต์ใช้แบบจำลองต่างๆทางด้านการจราจรก็จำเป็นต้องใช้ข้อมูลอัตราการไหลและอัตราเร็วที่ถูกต้องเพื่อนำไปเป็นข้อมูลนำเข้า ดังเช่น เทิดศักดิ์ รองวิริยะพานิช และอัจจิมา สวัสดิสาร, (2549) ได้ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองการแจกแจงการเดินทางโดย TRIPS และ DYNASMART-P พบว่า Speed Flow Relationship เป็นตัวแปรหลักที่ต้องปรับให้แบบจำลองทั้ง 2 แบบมีลักษณะคล้ายกันที่สุดจึงจะสามารถเปรียบเทียบกันได้

สุพรชัย อุทัยนฤมล ปริญญา ถนัดทาง และ วิรัช หิรัญ, (2549) ได้ทำการศึกษาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล (PCE) พบว่าค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลสำหรับรถบรรทุกขนาดกลาง รถบรรทุกขนาดใหญ่ และรถบรรทุกพ่วงและกึ่งพ่วงของถนนนอกเมืองและในเมืองมีค่าไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 95% และค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลสำหรับใช้ในแบบจำลองการขนส่งและจราจรระดับวางแผนสำหรับรถจักรยานยนต์ รถสามล้อเครื่อง รถบรรทุกขนาดกลาง รถบรรทุกขนาดใหญ่ รถบรรทุกพ่วงและกึ่งพ่วง รถโดยสารขนาดเล็กและรถโดยสารขนาดใหญ่ มีค่าเท่ากับ 0.65, 0.95, 1.15, 1.25, 1.40, 1.20 และ 1.35 ตามลำดับ

Prof. L, H Immers and S. Logghe (2002) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการไหล อัตราเร็ว และ ความหนาแน่น บนถนนมอเตอร์เวย์ขนาด 3 ช่องจราจร ซึ่งข้อมูลที่ได้จัดว่าไม่มีความต่อเนื่อง (Non-homogeneous) เป็นการศึกษาในระดับ Macroscopic แต่ก็สามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ให้มีความต่อเนื่องได้ ดังแสดงในรูปที่







รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล-อัตราเร็ว-ความหนาแน่นของ Prof. L, H Immers and S. Logghe

2.2 ประเภทของถนน

ประเทศต่างๆได้มีการกำหนดมาตรฐานของตนเอง ทำให้มีชื่อเรียกถนนที่แตกต่างกันออกไป สำหรับในประเทศไทยมีการอ้างอิงใช้มาตรฐานของทางสหรัฐอเมริกามาใช้ในการจำแนกประเภทถนนในประเทศไทย โดยจำแนกออกได้เป็นดังนี้

- Express way (ทางด่วน) คือ ถนนสายหลักสำหรับรถใช้ความเร็วสูงที่แยกการจราจร 2 ทิศทางออกจากกัน มีการควบคุมการเข้าถึงอย่างเต็มที่
- Major street or major highway คือ ถนนสายหลักที่ยอมให้มีทางแยกระดับพื้นและมีทางเชื่อมบริเวณสองข้างทางได้ การออกแบบต้องให้ความสะดวกและปลอดภัยแก่รถทางตรงเป็นสำคัญ
- Through street or through highway คือ ถนนโดยทั่วไปที่ออกแบบให้ความสะดวกแก่ยวดยานที่ใช้ถนนดังกล่าว และที่จุดต้องมีป้ายยอมให้ผ่านหรือป้ายหยุดสำหรับบังคับยวดยานที่มาในทิศทางที่ตัดกัน
- Collector and Distributor Street (C-D road) เป็นถนนสำหรับรวบรวมและกระจายการจราจรจาก local street เข้าสู่หรือออกจากถนนสายหลักอีกทีหนึ่ง
- Local street or local road คือ ถนนที่ทำสำหรับเป็นทางเข้าย่านที่อยู่อาศัย ย่านธุรกิจ หรือเขตกรรมสิทธิ์เฉพาะบุคคลอื่นๆ

2.3 ระบบโครงข่ายถนน (Pattern of Road Networks)

ปัญหาการจราจรเป็นปัญหาสำคัญของเมืองใหญ่ทุกแห่ง สาเหตุประการหนึ่งของการจราจรติดขัดมาจากการวางระบบถนนไม่ถูกต้อง หรือ ปล่อยให้เกิดเองโดยไม่ได้มีการวางแผน ดังนั้นเพื่อให้การศึกษาเกี่ยวกับถนนได้สมบรูณ์ยิ่งขึ้นจึงควรทราบรูปแบบของโครงข่ายถนนประเภทต่างๆ ไว้ ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการวางแผนสำหรับโครงข่ายถนนสำหรับเมืองที่เกิดใหม่หรือการแก้ไขของเดิมให้ได้รูปแบบที่ถูกต้อง ในทางทฤษฎีรูปแบบของโครงข่ายของถนนแบ่งได้หลายรูปแบบแต่ที่สำคัญแบ่งได้ 3 ประเภทหลัก คือ

2.3.1 แบบตาราง (Grid Network)

ลักษณะถนนโครงข่ายแบบตารางประกอบด้วยถนนที่เป็นเส้นตรงในแนวยาวและแนวขวางตัดตั้งฉากกัน ถนนแต่ละสายจะตัดกันเป็นตารางสี่เหลี่ยมซึ่งอาจจะเป็นแบบจัตุรัสหรือผืนผ้าก็ได้ถนนลักษณะนี้มีทั้งข้อดีและข้อเสียดังแสดงในตารางที่2.1

ตารางที่2.1 ข้อดีและข้อเสียของถนนโครงข่ายแบบตาราง

ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีความสม่ำเสมอในการเข้าถึงส่วนต่างๆ ของเมืองได้ดีเท่าๆ กัน 2. กระจายความหนาแน่นของประชากรและความเจริญออกไปสำเสมอกันการขนส่งกระจายออกไปได้ไม่จำกัดอยู่บริเวณเดียว ทำให้สะดวกต่อการให้บริการ 3. ออกแบบเมืองและวางแนวถนนง่าย เมืองสามารถขยายออกไปได้โดยจำกัดโดยใช้รูปแบบเดิม 4. เพิ่มความจุของโครงข่ายถนนได้ง่ายโดยการจัดรถเดินทางเดียวในถนนคู่ใดคู่หนึ่ง 5. การเดินทางโดยหลีกเลี่ยงย่านธุรกิจในกลางเมืองสามารถกระทำได้หลายเส้นทาง	1.ไม่เหมาะสำหรับพื้นที่ภูมิประเทศไม่สม่ำเสมอทำให้ค่าใช้จ่ายสูง 2. การจัดทางเอกทางโททำได้ยาก เพราะถนนแต่ละสายจะมีความสำคัญเท่าเทียมกัน 3. ไม่เหมาะสำหรับการเดินทางที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดอยู่ในแนวทะแยงมุมเพราะจะทำให้การเดินทางยาวขึ้น 4. มีทางตัดกันมากไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากจัดระยะห่างระหว่างถนนน้อย 5. ผู้ขับขี่เกิดการจำเจต่อการขับขี่กลุ่มก้อนของตึกหรือทางแยกที่มีรูปร่างซ้ำๆ กัน

2.3.2 แบบแนวรัศมี (Radial network)

ถนนโครงข่ายแบบแนวรัศมีมีความเหมาะกับพฤติกรรมความต้องการของผู้ใช้ถนน ทั้งนี้เพราะถนนเริ่มจากจุดร่วมที่สำคัญของเมือง เช่น ศูนย์การค้า สถานที่ราชการ สถานที่ประกอบการ ฯลฯ ถนนแบบนี้เกิดจากศูนย์กลางความเจริญที่จุดใดจุดหนึ่งแล้วขยายออกไปโดยรอบแนวถนนจึงเกิดขึ้นตามความเจริญ ถนนลักษณะนี้จะยังให้ความสะดวกในการใช้หากจุดศูนย์กลางของโครงข่ายยังคงทับอยู่กับศูนย์ถ่วงของแผนผังการไหลของการจราจรการเดินทางจากมุมหนึ่งของเมืองไปยังอีกมุมหนึ่งของเมืองจะไม่เหมาะสมกับถนนแบบนี้ เพราะจะต้องขับผ่านใจกลางเมืองซึ่งเป็นการเสียเวลาและสร้างปัญหาการจราจรติดขัดฉะนั้นรูปแบบของถนนแบบนี้จึงมักต้องประกอบด้วยเส้นวงแหวนรอบจุดศูนย์กลางเป็นชั้นๆ ออกมาเพื่อประโยชน์ในการเดินทาง

2.3.3 แบบวงแหวน (Ring network)

ถนนโครงข่ายแบบวงแหวนมีข้อดีและข้อเสียดังแสดงในตารางที่2.2

ตารางที่2.2 ข้อดีข้อเสียของถนนโครงข่ายแบบวงแหวน

ข้อดี	ข้อเสีย
1. เลือกเส้นทางในการเดินทางได้ 2. การจราจรไหลเวียนได้ดีทั้งย่านใจกลางเมืองและรอบๆ 3. แนวถนนวงแหวนสามารถปรับตามลักษณะตามภูมิประเทศได้	1. ถนนทุกสายพุ่งเข้าสู่ศูนย์กลางเมืองทำให้การจราจรติดขัด 2. พื้นที่บริเวณระหว่างถนนสายรัศมีจะได้บริการไม่ทั่วถึง 3. ในกรณีลักษณะที่ดินไม่สม่ำเสมอจะทำให้ยากต่อการวางผังและการออกแบบ

2.4 อัตราเร็ว (Speed)

อัตราเร็ว หมายถึง ระยะทางที่วิ่งได้ของยวดยานภายในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งอาจมีหน่วยเป็นไมล์/ชม. กม./ชม. หรือ ฟุต/ชม. ก็ได้ ค่าความเร็วของยวดยานในเวลาใดๆ หรือคือค่าความชันของความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาที่พาหนะเคลื่อนที่ไปได้ (Time-Space Diagram) ซึ่งอัตราเร็วของพาหนะสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ อัตราเร็วจุด (Spot speed หรือ Time

mean speed) และ อัตราเร็วในการเดินทาง (Travel speed หรือ Space mean speed) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.4.1 อัตราเร็วจุด

อัตราเร็วจุด Time mean speed ($\overline{u_t}$) คือ มัชฌิมาเลขคณิต (Arithmetic mean) ของความเร็วของยวดยาน ซึ่งผ่านจุดใดจุดหนึ่งบนถนนระหว่างช่วงเวลาหนึ่งสูตรที่ใช้คำนวณ Time mean speed ดังแสดงในสมการที่2.1

$$\overline{u_t} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} u_i \qquad (2.1)$$

เมื่อ $\overline{u_t}$ = Time-mean speed

n = จำนวนยวดยานที่ผ่านจุดใดๆ บนถนน

u_i = ความเร็วของยวดยานคันที่ i

2.4.2 อัตราเร็วในการเดินทาง

อัตราเร็วในการเดินทาง Space mean speed ($\overline{u_s}$) คือ มัชฌิมฮาร์โมนิค (Harmonic mean) ของความเร็วของยวดยานซึ่งผ่านจุดใดๆ บนถนนระหว่างช่วงเวลาหนึ่งซึ่งหาได้โดยการหารระยะทางทั้งหมดที่วิ่งโดยรถ 2 คัน หรือมากกว่านั้นบนช่วงถนนด้วยเวลาทั้งหมดที่ต้องการสำหรับรถเหล่านั้นที่จะใช้วิ่งในระยะทางดังกล่าวความเร็วที่นี้ใช้เกี่ยวข้องกับ Flow-density relationships ซึ่ง Space mean speed ดังแสดงในสมการที่2.2

$$\overline{u_s} = \frac{n}{\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{u_i}} = \frac{nL}{\sum_{i=1}^{n} t_i} \qquad (2.2)$$

เมื่อ $\overline{u_s}$ = Space mean speed (ฟุต/วินาที)

n = จำนวนยวดยาน

t_i = เวลาที่รถคันที่ I ใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านช่วงของถนน, วินาที

u_i = ความเร็วของรถคันที่ i, ฟุต/วินาที

L = ช่วงความยาวของถนน, ฟุต

2.5 เทคนิคการเก็บข้อมูลเวลาในการเดินทาง

เวลาในการเดินทาง (Travel time) คือช่วงเวลาทั้งหมด ที่ยวดยานที่ใช้ในการเดินทางตลอดช่วงตอนที่กำหนดของเส้นทาง ซึ่งจะรวมถึงเวลาที่ใช้หยุดและเวลาที่ล่าช้าด้วยการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างสภาพการไหลแบบอิสระ (Free flow) กับสภาพการไหลที่แออัดคับคั่ง (Congested flow) จะทำให้ทราบถึงความล่าช้าที่เกิดขึ้นได้เทคนิคการหาข้อมูลเวลาในการเดินทางมีอยู่หลายแบบดังต่อไปนี้

2.5.1 เทคนิคการใช้รถทดสอบ

เทคนิคนี้ใช้รถทดสอบ (Test car) ขับแล่นไปตามช่วงทดสอบของถนนที่ทำการศึกษาโดยให้ทำการวิ่งหลายครั้งเป็นชุดของจำนวนเที่ยวตามปกติมีอยู่ 2 วิธีคือ

วิธีรถลอยตัว เป็นวิธีที่ผู้ขับขี่รถทดสอบพยายามขับให้รถทดสอบแล่นแซงผ่านยวดยานคันอื่นๆ ในกระแสจราจรได้จำนวนเท่าๆ กับที่ยวดยานคันอื่นๆ แซงผ่านรถทดสอบ เรียกเทคนิคอย่างนี้ว่าวิธีรถลอยตัว (The floating method)

วิธีความเร็วเฉลี่ย เป็นวิธีที่ผู้ขับขี่เดินทางด้วยความเร็วตามความคิดของเขาว่าเป็นตัวแทนของความเร็วจากการจราจรทั้งหมดในเวลานั้น การทดสอบของวิธีนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์อย่างดีกับเวลาเดินทางที่แท้จริง เรียกเทคนิคอย่างนี้ว่า วิธีความเร็วเฉลี่ย (The average speed method)

ด้วยวิธีการอย่างใดอย่างหนึ่งนี้จะต้องใช้ผู้สำรวจพร้อมด้วยนาฬิกาจับเวลา 2 อัน นั่งไปกับยวดยานผู้สำรวจจะเริ่มจับเวลาด้วยนาฬิกาอันแรก ณ จุดเริ่มต้นของการวิ่งทดสอบและทำการบันทึกเวลา ณ จุดควบคุมต่างๆ ที่กำหนดไว้ตามเส้นทาง ส่วยนาฬิกาอันที่ 2 ใช้จับเวลาเกี่ยวกับความล่าช้าของเวลาหยุดในแต่ละแห่ง การบันทึกจะต้องจดทั้งเวลา สถานที่ และสาเหตุของความล่าช้าแต่ละแห่งในแบบฟอร์ม

2.5.2 เทคนิคจดแผ่นป้ายทะเบียนรถ

เทคนิคนี้ใช้ผู้สำรวจอยู่ที่ทางเข้าและที่แต่ละทางออกของช่วงทดสอบเป็นช่วงที่ต้องการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเวลาการเดินทาง ผู้สำรวจแต่ละคนจะต้องมีนาฬิกาจับเวลาที่ตั้งไว้ตรงกันและต้องมีแบบฟอร์มจดบันทึก การจดบันทึกให้จดเวลาและตัวเลขสามตัวหรือสี่ตัวท้ายของแผ่นป้ายทะเบียนรถ (License plate) ของยวดยานแต่ละคันที่แล่นผ่านจุดสำรวจ จากนั้นจะนำข้อมูลที่บันทึกได้มาจับคู่ตัวเลขแล้วคำนวณหาเวลาการเดินทางได้จากข้อมูลที่บันทึก

2.5.3 เทคนิคการสัมภาษณ์

เทคนิคนี้มีประโยชน์เมื่อต้องการรายละเอียดปริมาณมากในช่วงเวลาที่มีจำกัดและเสียค่าใช้จ่ายน้อยในการสำรวจภาคสนาม ลูกจ้างหรือพนักงานของหน่วยงานต่างๆ จะถูกขอร้องให้ช่วยบันทึกเวลาเดินทางไปกลับจากการทำงานในวันที่เฉพาะเจาะจง จะได้ผลเป็นที่น่าพอใจเมื่อได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดี

2.5.4 เทคนิคการใช้ภาพถ่าย

เทคนิคการใช้ภาพถ่ายนี้สามารถใช้เก็บข้อมูลดังที่ได้อธิบายไปแล้วอย่างก็ตามการใช้ภาพถ่ายนี้นิยมใช้ในการศึกษาในงานวิจัยเป็นส่วนใหญ่

2.6 ทฤษฎีเบื้องต้นของกระแสจราจร (Fundamental theory of Traffic Flow)

ทฤษฎีเบื้องต้นของกระแสจราจรจะกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Flow rate, v) ความเร็ว (Speed, S) และความหนาแน่น (Density, D) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 3 ตัว สามารถแสดงเป็นสมการดังแสดงในสมการที่2.3 และรูปที่2.1

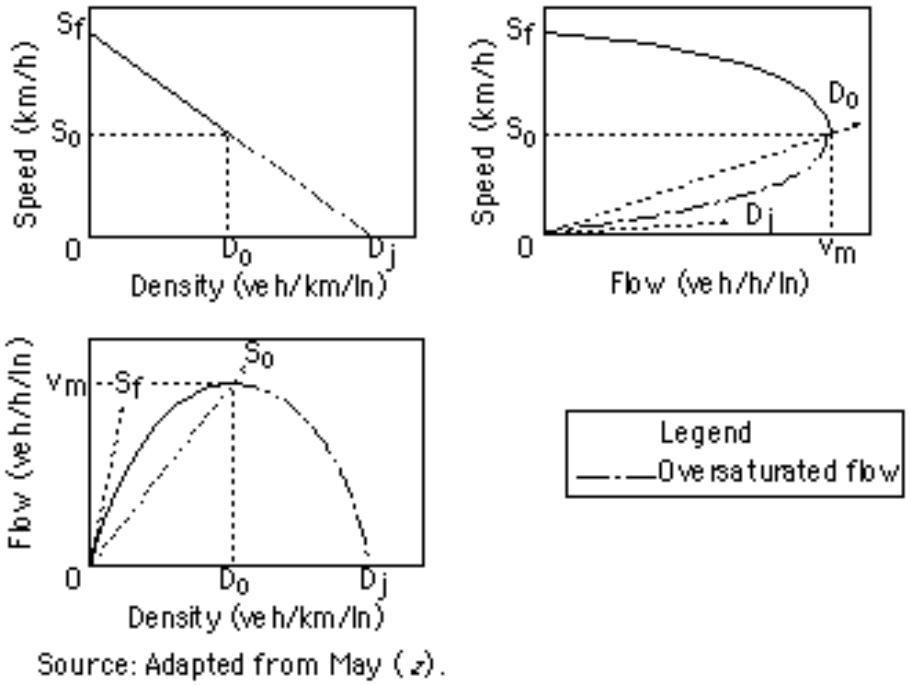
$$v = S * D \qquad (2.3)$$

เมื่อ

v คือ อัตราการไหล (Flow rate) จำนวนยานพาหนะที่แล่นผ่านตำแหน่งหนึ่งๆในระยะเวลาที่กำหนด เช่น 15 นาที และ แปลงเป็นหน่วย คัน/ชั่วโมง

D คือ ความหนาแน่น (Density) จำนวนยานพาหนะที่ปรากฏต่อช่วงความยาวของถนนซึ่งมีหน่วย เป็น คัน/กิโลเมตร หรือ คัน/ไมล์

S คือ อัตราเร็วของปริมาณการจราจรบนถนน (Speed) ซึ่งมีหน่วยเป็น กิโลเมตร/ชั่วโมง หรือ ไมล์/ชั่วโมง



ที่มา: Highway Capacity Manual 2000

รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ความเร็ว และความหนาแน่น

นอกจากตัวแปรอิสระทั้งสามตัวที่กล่าวมาแล้วนั้นยังมีคำนิยามที่ควรจะศึกษาดังต่อไปนี้

D_j (Jam Density) คือ ความหนาแน่นที่การจราจรติดขัดมากจนกระทั่งยานพาหนะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ หรือ ความหนาแน่นขณะที่อัตราเร็วและอัตราการไหลเป็นศูนย์

S_f (Free flow speed) คือ อัตราเร็วอิสระของยานพาหนะในกรณีที่ไม่มียานพาหะอื่นบนถนน หรือ อัตราเร็วในขณะที่ไม่มีอัตราการไหล โดยที่ผู้ขับขี่สามารถเลือกใช้อัตราเร็วได้ตามต้องการ

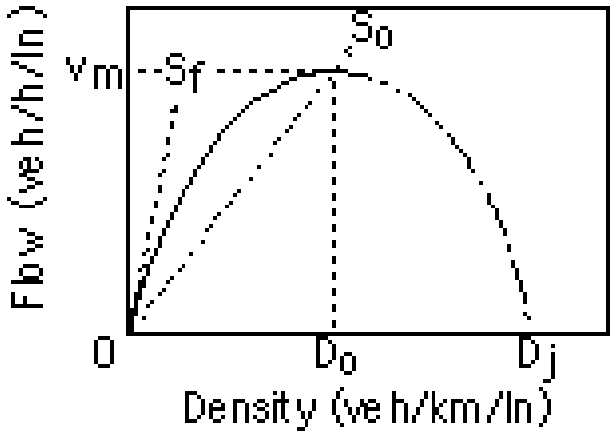
v_m (Capacity) คือ อัตราการไหลสูงสุด จำนวนพาหนะที่ผ่านจุดอ้างอิงสูงสุดต่อช่วงเวลาที่กำหนด หรือ อัตราการไหลในขณะที่เกิด Optimum density และ Optimum speed

D_o (Optimum density) คือ ความหนาแน่นที่ทำให้เกิดอัตราการไหลสูงสุด

S_o (Optimum speed) คือ อัตราเร็วที่ทำให้เกิดอัตราการไหลสูงสุด

2.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความหนาแน่น

ภายใต้สภาพการไหลที่ไม่มีการขัดจังหวะซึ่งหมายถึงไม่มีปัจจัยทั้งหลายจากภายนอกมาขัดจังหวะ อันได้แก่ ทางแยก ป้ายจราจร สัญญาณไฟจราจร ที่มาควบคุมการไหลของการจราจรจะพบว่าความเร็วมีค่าลดลงเมื่อปริมาณหรือการไหลมีค่าเพิ่มขึ้นความสัมพันธ์จะเป็นจริงไปจนกระทั่งจุดหนึ่งซึ่งปริมาณหรือการไหลมีค่ามากที่สุด หลังจากนั้นทั้งความเร็วและการไหลจะลดลงเหลือแต่เพียงความหนาแน่นเท่านั้นที่ยังคงเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์จะแตกต่างกันสำหรับถนนต่างๆ ที่ไม่เหมือนกันดังรูปที่ 2.2 ซึ่งโดยปกติจะใช้การพิจารณาจากประสบการณ์นั้นเอง

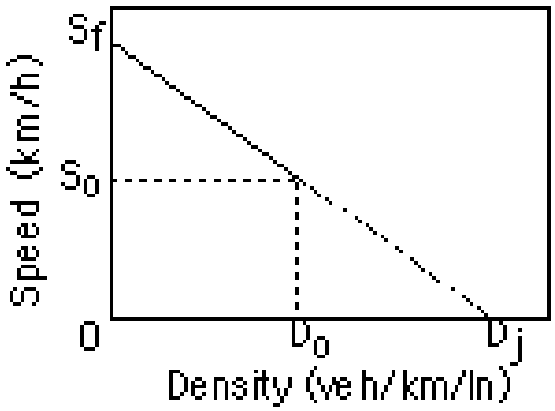


รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความหนาแน่น

2.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความหนาแน่น

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกับความหนาแน่นแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งบางครั้งก็เรียกกันว่าแผนภูมิมูลฐานของการจราจรบนถนน (Fundamental diagram of road traffic) เมื่อปริมาณหรือการไหลเพิ่มขึ้นความหนาแน่นก็จะเพิ่มขึ้นด้วยถึงจุดความหนาแน่นวิกฤต (critical density) หรือการไหลสูงสุด หลังจากจุดนี้ไปแล้วปริมาณหรือการไหลจะลดลงถึงแม้ว่าความหนาแน่นจะยังคงเพิ่มขึ้นต่อไปอีกจุดที่ไม่มีการไหลของการจราจรอีกต่อไปแล้วจะเป็นจุดที่แสดงความหนาแน่นสูงสุดซึ่งเรียกว่าความหนาแน่นแออัด (jam density) ความชันของเส้นตรงที่ลากเชื่อมจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดใดๆ บนกราฟเส้นโค้ง คือ ความเร็วเฉลี่ยจากช่วงห่าง (space mean speed) ที่ปริมาณของการจราจร ณ จุดนั้นเนื่องจาก $\overline{\mu_s} = V/D$ นั่นเอง ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรกับ

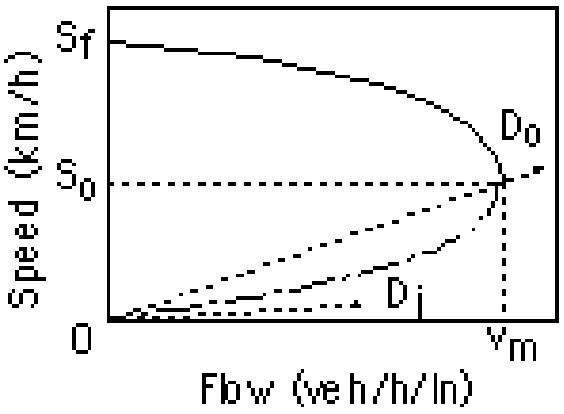
ความหนาแน่นก็เป็นการหาเชิงประสบการณ์เช่นกัน อย่างไรก็ตามไม่ใช่สิ่งจำเป็นและเป็นการยุ่งยากที่จะต้องหารูปร่างที่แท้จริงของกราฟเส้นโค้งในช่วงที่ต่อจากจุดการไหลสูงสุดไปแล้ว [4]



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความหนาแน่น

2.6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับอัตราการไหล

ตามปกติความเร็วจะลดลงเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจนกระทั่งความเร็วของการจราจรเข้าใกล้ศูนย์ที่ความหนาแน่นแออัดมาถึงความสัมพันธ์นี้แสดงได้ในรูปของกราฟเส้นตรงจากการศึกษาเชิงประสบการณ์โดยทั่วๆ ไป ถึงแม้ว่ารูปร่างที่แท้จริงจะแปรเปลี่ยนขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอกหลายประการได้แก่ ประเภทถนน ระดับการรบกวนจากข้างทาง และสภาพการจราจรภายใต้การติดขัดหรือไม่ติดขัดก็ตามยังพบว่าความสัมพันธ์เชิงตรงนี้ก็เป็นที่น่าพอใจสำหรับการศึกษาส่วนใหญ่ดังแสดงในรูปที่2.4



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับอัตราการไหล

2.7 ความจุของถนน (Capacity of roadway)

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าพารามิเตอร์ในกระแสจราจรเหล่านั้นเป็นพื้นฐานให้เข้าใจถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลให้การจราจรแออัดคับคั่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความจุของทางหลวงจึงมีผลต่อการวางแผนการออกแบบและดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับทางหลวง คณะกรรมการวิจัยทางหลวง (The Highway Research Board) ซึ่งรู้จักกันในนามว่า คณะกรรมการวิจัยการขนส่ง (Transportation Research Board) ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้จัดทำมาตรฐานการคำนวณเกี่ยวกับความจุทางหลวงและระดับการให้บริการสำหรับถนนทุกประเภท จึงตีพิมพ์หนังสือคู่มือความจุทางหลวง (Highway Capacity Manual) ออกมาเผยแพร่ภายในคู่มือได้เสนอการค้นพบวิธีการศึกษาภาคสนามต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจราจรและลักษณะต่างๆ ของถนนจากวิธีต่างๆ เชิงประสบการณ์ที่ได้รับการพัฒนามาสำหรับการวิเคราะห์ความจุและระดับการให้บริการ ซึ่งประเทศต่างๆ ส่วนมากจะรับเอาวิธีการตามที่เสนอในคู่มือความจุทางหลวงนำไปปฏิบัติกันอย่างแพร่หลาย

ในที่นี้จะแนะนำหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวกับความจุและระดับของการบริการ คำว่า ความจุของถนน (Capacity of roadway) หมายถึง จำนวนสูงสุดของยวดยานที่คาดว่าจะแล่นผ่านช่วงตอนของถนนไปตามช่องจราจรในหนึ่งทิศทาง(หรือ สองทิศทางบนทาง 2 และ 3 ช่องจาจร) ในระหว่างคาบเวลาที่กำหนดภายใต้สภาพถนนและการจราจรโดยทั่วไปตามปกติแล้วมักแสดงความจุในหน่วยจำนวนยวดยานต่อชั่วโมง สำหรับระบบอังกฤษจะแสดงในหน่วยรถนั่งส่วนบุคคลต่อชั่วโมง (passenger car units per hour) รถยนต์นั่งส่วนบุคคลจะนำมาใช้เป็นตัวแทนของยวดยานประเภทอื่นๆ ในการแสดงผลกระทบที่มีต่อความเร็วและความจุ โดยการนำยวดยานประเภทต่างๆ แต่ละคันมาแปลงค่าเทียบเท่าจำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลซึ่งเรียกว่าค่า PCU เพื่อแสดงเป็นจำนวนของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่จะมีผลต่อการจราจรเท่ากับผลของการกระทำที่เกิดจากยวดยานประเภทต่างๆ เหล่านั้น จากนิยามข้างต้น คำว่า สภาพถนน (roadway conditions) หมายถึงลักษณะทางกายภาพของถนน เช่น ความกว้างของช่องจราจร ผิวจราจร แนวเส้นทาง และความลาดชัน คำว่า สภาพจราจร (traffic conditions) หมายถึงส่วนที่สัมพันธ์กับธรรมชาติของกระแสจราจรที่ไหลไปตามถนน

ตารางที่ 2.3 คู่มือความจุทางหลวง

ประเภทถนน	ความจุการไหลที่ไม่ติดขัด (หน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลต่อชั่วโมง)
ทางหลวงหลายช่องจราจร	2,000 คันต่อช่องจราจร
ทางหลวง 2 ช่องจราจร 2 ทิศทาง	2,000 คัน (รวมทั้งสองทิศทาง)
ทางหลวง 3 ช่องจราจร 2 ทิศทาง	4,000 คัน (รวมทั้งสองทิศทาง)
ทางสายหลัก(ช่องจราจร 12 ฟุต ที่ทางแยกมีสัญญาณไฟ)	1,800 คันต่อชั่วโมงของเวลาไฟเขียว

2.8 ความจุถนนภายในเมืองของ Highway Capacity Manual 2000

Highway Capacity Manual 2000 ได้แนะนำค่า Service volumes สำหรับถนนภายในชุมชน (Urban Streets) ไว้ดังแสดงในตารางที่2.4 โดยต้องมีเงื่อนไขทางการจราจรดังแสดงในตารางที่2.5

ตารางที่2.4 Service volumes ที่แนะนำจาก HCM 2000

	Service Volumes (veh/h)				
Lanes	A	B	C	D	E
Class I					
1	N/A	740	920	1010	1110
2	N/A	1490	1780	1940	2120
3	N/A	2210	2580	2790	3040
4	N/A	2970	3440	3750	4060
Class II					
1	N/A	N/A	620	820	860
2	N/A	N/A	1290	1590	1650
3	N/A	N/A	1920	2280	2370
4	N/A	N/A	2620	3070	3190
Class III					
1	N/A	N/A	600	790	840
2	N/A	N/A	1250	1530	1610
3	N/A	N/A	1870	2220	2310
4	N/A	N/A	2580	2960	3080
Class IV					
1	N/A	N/A	270	690	790
2	N/A	N/A	650	1440	1520
3	N/A	N/A	1070	2110	2180
4	N/A	N/A	1510	2820	2900

ตารางที่2.5 เงื่อนไขในการเคลื่อนที่ของกระแสจราจรบนถนนสายหลักในชุมชน

	Class			
	I	II	III	IV
Signal density (sig/km)	0.5	2	3	6
Free-flow speed (km/h)	80	65	55	45
Cycle length (s)	110	90	80	70
Effective green ratio	0.45	0.45	0.45	0.45
Adj. sat. flow rate	1850	1800	1750	1700
Arrival type	3	4	4	5
Unit extension (s)	3	3	3	3
Initial queue	0	0	0	0
Other delay	0	0	0	0
Peak-hour factor	0.92	0.92	0.92	0.92
% lefts, % rights	10	10	10	10
Left-turn bay	Yes	Yes	Yes	Yes
Lane utilization factor	According to Exhibit 10-23, Default Lane Utilization Factors			

2.9 เกณฑ์และมาตรฐานการวางและจัดทำผังเมืองรวม (2539)

2.9.1 ระบบถนนในเมือง (Urban Street System)

การคมนาคมและการขนส่งเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งของชุมชนหรือเมือง ในการเชื่อมโยงการใช้ที่ดินทุกประเภทให้สัมพันธ์กัน ตั้งแต่บริเวณชุมชนภายในตัวเมืองออกไปถึงนอกชานเมือง แล้วยังเชื่อมต่อระหว่างเมืองต่อเมืองทั้งประเทศ ตลอดจนจนเชื่อมต่อระหว่างประเทศอีกด้วยฉะนั้น การจัดเส้นทางคมนาคมหรือระบบถนน ซึ่งเปรียบเสมือนโครงร่างหรือแกนของเมืองให้เป็นระบบ จะช่วยส่งเสริมกิจกรรม การพัฒนาต่างๆ ให้เจริญก้าวหน้าไปตามส่วนที่สัมพันธ์กันกับการพัฒนาของระบบถนน นอกจากนี้เขตทางถนนยังสามารถใช้ในการวางและติดตั้งก่อสร้างระบบสาธารณูปโภคได้อีกด้วย ถนนซึ่งจำแนกตามสภาพชุมชนเป็น ถนนนอกเมืองและถนนในเมืองนั้น ถนนนอกเมืองส่วนใหญ่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง ส่วนถนนในเมืองนั้นเกี่ยวข้องโดยตรงกับกรมการผังเมือง ซึ่งรับผิดชอบในการผังโครงการระบบคมนาคมและขนส่ง

การพิจารณาเพื่อวางผังโครงการระบบคมนาคมและขนส่ง หรือโครงข่ายของระบบถนนโดยทั่วไปจะมีวัตถุประสงค์ เพื่อรองรับการขยายตัวของชุมชนในอนาคต เพื่อเปิดพื้นที่ให้สามารถใช้ประโยชน์ได้ตามศักยภาพ เพื่อแบ่งเบาปริมาณการจราจร หรือเพื่อเชื่อมโยงและปรับปรุงโครงข่ายระบบถนนให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น สิ่งที่จำเป็นที่ต้องคำนึงถึงในการพิจารณาเพื่อวางโครงข่ายของระบบถนน ได้แก่ รูปแบบของถนน ประเภทของถนนตามลำดับตามความสำคัญและรูปตัด

ของถนน ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลเพื่อประกอบการพิจารณาเช่น ปริมาณการจราจร ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน แนวถนนเดิม เขตทาง รวมถึงนโยบาย วัตถุประสงค์ และความจำเป็นทั้งในด้านความปลอดภัย ความเดือดร้อนของประชาชน การรักษาสิ่งแวดล้อม หรือการอนุรักษ์พื้นที่อันจะนำมาซึ่งโครงข่ายของระบบที่สมบูรณ์ สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง และมีความเป็นไปได้ในการดำเนินการ ทั้งในแง่ของการปรับปรุงถนนเดิม หรือการก่อสร้างถนนใหม่ตามโครงข่ายของระบบถนนที่วางแผน

2.9.2 ประเภทของถนนในเมือง (Urban Street Type)

ถนนในเมือง (Urban Street) หมายถึง ถนนในเขตเมืองชุมชนที่มีประชากร อยู่หนาแน่น และได้ยกระดับเป็นเขตสุขาภิบาลหรือเขตเทศบาลแล้ว ประเภทของถนนในเมือง เมื่อพิจารณาตามลักษณะหน้าที่ในการใช้งานและลำดับความสำคัญ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ถนนสายประธาน ถนนสายหลัก ถนนสายรอง และถนนสายย่อย ดังแสดงในตารางที่2.6

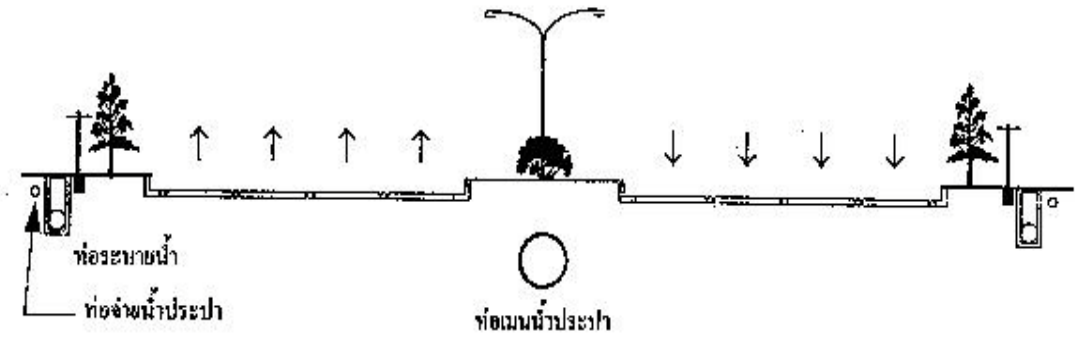
ตารางที่2.6 แสดงหน้าที่ของถนน การเชื่อมต่อและความเร็วออกแบบของถนนในเมืองประเภทต่างๆ

ประเภทถนน	หน้าที่ของถนน	การเชื่อมต่อถนน	ความเร็วออกแบบ (กม./ชม.)*
ถนนสายประธาน	เชื่อมต่อระหว่าง ชุมชน – ชุมชน เมือง – ชุมชน – เมือง เมือง – เมือง	ควบคุม ควบคุมมาก ห้ามเชื่อมต่อ	80
ถนนสายหลัก	ผ่านเข้า-ออกเมืองหรือชุมชนและกระจายการจราจรไปยังพื้นที่ต่างๆ โดยเชื่อมต่อระหว่าง ถนน สายประธานและถนนสายรอง	ควบคุมบ้าง	65
ถนนสายรอง	กระจายการจารจรโดยเชื่อมต่อระหว่างถนนสายหลักและถนนสายย่อย	ควบคุมเล็กน้อย	50
ถนนสายย่อย	เป็นถนนภายใน ในแต่ละย่านโดยรับการจราจร จากจุดต่างๆ ภายในย่านโดยตรง แล้วเชื่อมต่อกับถนนสายรอง	ไม่ควบคุม	40

ที่มา: *National Committee on Urban Transportation, Standard for Street Facilities and Service, Procedure Manual 7A, Chicago

2.9.3 รูปตัดของถนนในเมือง

การกำหนดรูปตัดของถนนในเมือง (Urban Street Section) ความกว้างของเขตทางจะเป็นตัวกำหนดพื้นที่ที่จะทำการก่อสร้างหรือปรับปรุง ซึ่งหมายรวมถึง การกำหนดจำนวนและขนาดของช่องจราจร พื้นที่สำหรับเกาะกลาง (Median) พื้นที่สำหรับอาคารระบายน้ำ (Drainage Structures) ระบบสาธารณูปโภค ขนาดไหล่ทาง (Shoulder) พื้นที่สำหรับทางเท้า (Side Walk) และพื้นที่เพื่อการขยายถนนในอนาคตเป็นต้น รูปที่2.9 แสดงรูปตัดของถนนและระบบสาธารณูปโภคภายในเขตทาง



รูปที่ 2.9 แสดงรูปตัดของถนนและระบบสาธารณูปโภคภายในเขตทาง

- **ความกว้างของถนน** (Right of way width) คือ พื้นที่กันแนวเขตไว้สำหรับก่อสร้างส่วนต่างๆ ของถนน การกำหนดความกว้างของถนนนั้น มีองค์ประกอบที่จะต้องนำมาพิจารณามากมาย เช่น ปริมาณการจราจร ย่านการใช้ที่ดิน สภาพภูมิประเทศ ประเภทของถนน รวมทั้งขนาดของอาคาร ท่อ สายส่ง ของระบบสาธารณูปโภคต่างๆ ฯลฯ

- **ช่องจราจร** (Traffic Lane) ความกว้างของช่องจราจรสามารถกำหนดให้กว้าง ช่องละ 2.75, 3.00, หรือ 3.50 เมตร แล้วแต่กรณี ขึ้นอยู่กับความกว้างของเขตทาง, ลักษณะการใช้ที่ดิน, ขนาดของยวดยาน, ความเร็วออกแบบ, หน้าที่และความสำคัญของถนนสายนั้นในระบบถนน ในกรณีที่เขตทางแคบอาจกำหนดให้มีช่องเพื่อการจราจรหรือเพื่อใช้ในกรณีเกิดอุบัติเหตุหรือเหตุฉุกเฉิน ในลักษณะช่องจอดริมถนน (Parking Lane) หรือ ไหล่ทาง (Shoulder)

- **ช่องจอดขนาน** (Parallel Parking Lane) เป็นส่วนที่ทำหรือจัดไว้เพื่อให้รถจอด ความกว้างของช่องจราจรจอดขนาน สามารถกำหนดให้กว้าง ช่องละ 2.00, 2.50, หรือ 3.00 เมตร แล้วแต่กรณี นอกจากนี้ช่องจอดขนานยังมีประโยชน์ เพื่อช่วยการจราจร หรือเพื่อใช้ในกรณีเกิดอุบัติเหตุหรือเหตุฉุกเฉิน เป็นต้น

- **ไหล่ทาง** (Shoulder) ความกว้างของไหล่ทางด้านนอกสามารถกำหนดให้กว้าง ช่องละ 1.75-2.50 เมตร แล้วแต่กรณี ส่วนความกว้างของไหล่ทางด้านในกำหนดให้กว้างอย่างน้อย 1.50 เมตร ไหล่ทางมีประโยชน์ใช้เป็นพื้นที่สำหรับหลบรถ จอดรถชั่วคราว เป็นต้น

- **เกาะกลาง** (Median) ใช้เป็นฉนวนเพื่อแบ่งแยกรถที่มีทิศทางการจราจรสวนทางกัน โดยทั่วไป ถนนที่มีช่องจราจรมากกว่า 4 ช่องจราจรขึ้นไป ควรออกแบบให้มีเกาะกลาง นอกจากนี้เกาะกลางยังมีประโยชน์สำหรับใช้เป็นพื้นที่สำหรับรถรอเลี้ยว เป็นที่พักรอของคนเดินข้ามถนนที่มีหลายช่องจราจร และเป็นที่ปลูกไม้พุ่ม ทำหน้าที่ป้องกันแสงไฟของรถสวนทางกัน

- **เกาะข้าง** (Outer Separator) ใช้สำหรับแยกการจราจรท้องถิ่นออกจากการผ่านเมืองบนถนนสายประธาน หรือถนนที่ออกแบบให้ใช้ความเร็วสูง โดยกำหนดให้มีความกว้างอย่างน้อย 3.00 เมตร ในกรณีที่ใช้สำหรับแยกทางออกจากช่องทางจราจรหลัก สามารถกำหนดให้มีความกว้างไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร

- **ทางเท้า** (Side Walk) ในถนนที่มียานพาหนะใช้ความเร็วสูง และผ่านชุมชนหรือบริเวณที่มีคนเดินเท้ามาก ควรพิจารณากำหนดให้มีทางเท้า บริเวณที่ควรกำหนดให้มีทางเท้า คือ บริเวณย่านธุรกิจ อาคารพาณิชย์ ย่านอุตสาหกรรม ย่านที่อยู่อาศัย หรือโรงเรียน ความกว้างของทางเท้าไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร

- **ทางจักรยาน** (Bicycle Lane) ถนนบางย่านที่มีขนาดเขตทางเท้าพอเพียงและมีการจราจรหนาแน่นควรมีถนนคู่ขนานด้านข้างสำหรับยวดยานที่วิ่งช้าด้วยคือ “ทางจักรยาน” ทางจักรยานควรออกแบบให้เป็นประเภทการจราจรเดินรถทางเดียว ความกว้างมาตรฐานของทางจักรยานคือ 2.50 เมตร หรืออย่างน้อย 1.80 เมตร ถ้าออกแบบให้การจราจรเดินรถสองทาง ความกว้างปกติอย่างน้อย 3.60 เมตร แต่ถ้ามีการใช้จักรยานกันน้อย ความกว้างอาจน้อยกว่านี้ก็ได้

ถนนที่มีการจราจรคับคั่งสับสนมากบริเวณทางแยกควรสร้างอุโมงค์สำหรับรถจักรยานกำหนดความสูงอย่างน้อย 2.25 เมตร ความกว้างอย่างน้อย 3.00 เมตร สำหรับการจราจรเดินรถทางเดียว หรือความกว้าง 4.00 เมตร สำหรับการจราจรเดินรถสองทาง ความลาดชัน 1: 20 ในกรณีพื้นลาดเอียงขึ้น และ 1:15 ในกรณีพื้นลาดเอียงลง

เพื่อเป็นแนวทาง ในการพิจารณาเพื่อกำหนดความกว้างของรูปตัดถนนและส่วนประกอบของรูปตัดถนน ให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้ที่ดิน จึงได้จัดทำตารางแสดงความกว้างของส่วนประกอบของรูปตัดถนนแยกตามลักษณะการใช้ที่ดินประเภทต่างๆไว้ ดังตารางที่ 2.4 อย่างไรก็ตามในการกำหนดรูปตัดของถนน นอกจากจะต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้ที่ดินแล้ว สิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึง และนำมาประกอบการพิจารณาเพื่อกำหนดรูปตัดและขนาดเขตทางของถนน คือ ความสมบูรณ์และต่อเนื่องของถนนสายต่างๆ ซึ่งเชื่อมดยงกันอย่างเป็นระบบ ตามหน้าที่การใช้

งานและลำดับความสำคัญ รวมทั้ง ขนาดเขตและรูปตัดของถนนเดิม ทั้งนี้ เพื่อเป็นการไหลเวียนของการจราจรได้สะดวกในทิศทางต่างๆ โดยเอื้ออำนวยให้เกิด ทางเลือกในการเดินทางไปสู่จุดหมายปลายทาง ได้มากกว่าหนึ่งเส้นทางและสามารถเข้าถึงพื้นที่ต่างๆ ในเขตวางผังได้อย่างทั่วถึง

2.9.4 ความจุของถนนในเมือง

ความจุของถนน (Carriage Way Capacity) หมายถึง จำนวนยานพาหนะสูงสุด ที่คาดว่าสามารถแล่นผ่านช่องจราจร ที่จุดใดๆ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง ภายใต้สภาพของช่องจราจรที่จุดนั้น ความจุของถนนที่ใช้ในการออกแบบถนนในเมือง ขึ้นอยู่กับ ปริมาณการจราจรสูงสุดในชั่วโมงเร่งด่วนช่วงเช้า, ช่วงเย็นและช่วงกลางวันและเนื่องจากปริมาณการจราจรบนถนนในเมืองมีความคับคั่งมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบ การจราจรบนถนนนอกเมือง ทำให้ความจุของถนนในเมืองลดลง อีกสาเหตุที่ทำให้การจราจรบนถนนในเมือง ล่าช้า และเสียเวลามากขึ้นคือ บริเวณทางร่วมทางแยก ซึ่งมีผลทำให้ความจุของถนนลดลงเช่นเดียวกัน ความจุของถนนในเมืองได้แสดงไว้ในตารางที่2.7 และตารางที่2.8 ส่วนตารางที่2.9 แสดงความสามารถในการรับปริมาณการจราจรของวงเวียน และตารางที่2.10 แสดงตัวแปรมาตรฐานที่ใช้เปลี่ยนหน่วยนับปริมาณรถ (คัน) ให้เป็นหน่วยรถยนต์นั่ง (Passenger Car Unit:PCU)

ตารางที่ 2.7 ความกว้างของส่วนประกอบของรูปตัดถนนตามลักษณะการใช้ที่ดิน

การใช้ที่ดิน	ย่านที่อยู่อาศัย (Residential Area)			ย่านพาณิชย์กรรม (Commercial Area)		ย่านอุตสาหกรรม (Industrial Area)
	หนาแน่นน้อย	หนาแน่นปานกลาง	หนาแน่นมาก	หนาแน่น	หนาแน่นมาก	
ไหล่ทาง (ม)	1.75-2.50	1.75-2.50	2.50-3.00	2.50-3.00	3.00	3.00
ทางเท้า (ม)	1.50-2.50	2.50	3.00-5.00	4.00-5.00	5.00-9.00	3.50-5.00
ช่องจอดขนาน (ม)	2.00	2.00-2.50	2.50-3.00	2.50-3.00	3.00	3.00
ช่องจราจร (ม)	2.75-3.00	3.00-3.25	3.25-3.50	3.25-3.50	3.50	3.50
เกาะกลาง (ม)	0.00-1.20	1.00-4.20	1.20-4.20	1.20-4.20	4.20-7.20	4.20-7.20
ทางจักรยาน (ม)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50

หมายเหตุ: เกาะกลางที่มีขนาดเล็กกว่า 1.2 ม. ให้ใช้เกาะกลางแบบตีเส้นแสดงขอบเขตด้วยสี (Painted Median) ข้อมูลในตารางปรับปรุงจากเอกสาร การออกแบบและวางผังถนนในเมือง, กองวิศวกรรม, สำนักผังเมือง

ตารางที่ 2.8 ความสามารถของช่องจราจรสำหรับการเดินรถสองทิศทาง

	ปริมาณการจราจร (PCU per Hour)										
จำนวนช่องจราจร	2	2	2	3	3	4	4	4	6	6	6
ความกว้างช่องจราจร (ม)	3.00	3.25	3.50	3.00	3.5	3.00	3.25	3.50	3.00	3.25	3.50
ความกว้างผิวจราจร (ม)	6.00	6.50	7.00	9.00	10.50	12.00	13.00	14.00	18.00	19.50	21.00
ถนนสายประธาน								6000			9000
ถนนสายหลัก	1200	1350	1500	2000	2200	4000	4400	4800	6000	6000	7200
ถนนสายรอง	800	1000	1200	1600	1800	2400	2700	3000	4000	4500	5000
ถนนสายย่อย	300-500	450-600	600-750	900-1100	1100-1300	1600-1800	18.00-2000	2000-2400	2600-3400	3000-4000	3200-4400

ที่มา: ปรับปรุงจากเอกสาร การออกแบบและวางผังถนนในเมือง, กองวิศวกรรม, สำนักผังเมือง

ตารางที่ 2.9 ความสามารถของช่องจราจรสำหรับการเดินรถทิศทางเดียว

ที่มา: ปรับปรุงจากเอกสาร การออกแบบและวางแผนผังถนนในเมือง, กองวิศวกรรม, สำนักผังเมือง

	ปริมาณการจราจร (PCU per Hour)								
จำนวนช่องจราจร	2	2	2	3	3	4	4	4	4
ความกว้างช่องจราจร (ม)	3.00	3.25	3.50	3.00	3.50	2.75	3.00	3.25	3.50
ความกว้างผิวจราจร (ม)	6.00	6.50	7.00	9.00	10.50	11.00	12.00	13.00	14.00
ถนนสายประธาน			3000		4500				6000
ถนนสายหลัก	2000	2200	2400	3000	3300	3600	4000	4400	4800
ถนนสายรอ ง	1300	1450	1600	2150	2400	2650	3000	3350	3700
ถนนสายย่อย	800	950	1100	1650	1900	2150	2500	2800	3200

ตารางที่ 2.10 ขนาดและความสามารถในการรับปริมาณการจราจรของวงเวียน

เส้นผ่านศูนย์กลางของวงเวียน (ม)	ความกว้างผิวจราจรของวงเวียน (ม)	ความกว้างทั้งหมดระหว่างคันดิน (ม)	มุมเบี่ยงเบนสูงสุด (องศา)	ปริมาณการจราจรสูงสุด (PCU/Hr)	หมายเหตุ
18.00	9.00	36.00	85	2500	
23.00	9.00	41.00	59	3000	
30.00	9.00	48.00	55	3500	
32.00	12.00	56.00	59	4000	
45.00	9.00	63.00	40	4000	วิศวกรผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ขนาดใดขนาดหนึ่งที่ต้องการความเหมาะสม
42.00	15.00	72.00	53	5000	
55.00	12.00	79.00	40	5000	
73.00	15.00	103.00	40	6000	

ที่มา: เอกสาร การออกแบบและวางผังถนนในเมือง, กองวิศวกรรม, สำนักผังเมือง

ตารางที่ 2.11 ตัวแปรสำหรับเปลี่ยนหน่วยนับปริมาณรถ (คัน) ให้เป็น PCU

ชนิดของยวดยาน	ตัวแปรสำหรับเปลี่ยนหน่วยนับปริมาณรถ (คัน) ให้เป็น PCU			
	ถนนในเมือง	ถนนนอกเมือง	วงเวียน	สัญญาณจราจร
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถแท็กซี่ รถบรรทุกเล็ก	1.00	1.00	1.00	1.00
รถจักรยานยนต์ รถจักรยานยนต์พ่วง	0.75	1.00	0.75	0.33
รถบรรทุก 6 ล้อ	2.00	3.00	2.80	1.75
รถบรรทุก 10 ล้อ รถโดยสารประจำทาง รถพ่วง	3.00	3.00	2.80	2.25
รถจักรยาน	0.33	0.50	0.50	0.20

ที่มา: เอกสาร การออกแบบและวางผังถนนในเมือง, กองวิศวกรรม, สำนักผังเมือง