บทที่ 2

การทบทวนผลงานที่ผ่านมา

การศึกษาพฤติกรรมของการเดินทางในเมืองโดยทั่วไปนิยมใช้แบบจำลองต่อเนื่อง (Sequential Models) อันประกอบด้วย แบบจำลองการเกิดการเดินทาง (Trip Generation Model) แบบจำลองการกระจายการเดินทาง (Trip Distribution Model) แบบจำลองรูปแบบประเภทของการเดินทาง (Modal Split Model) และแบบจำลองจัดเส้นทางการเดินทาง (Traffic Assignment Model) ในการศึกษานี้จะทำการศึกษาเฉพาะแบบจำลองจัดเส้นทางการเดินทาง ซึ่งเป็นแบบจำลองที่จำเป็นต้องนำคอมพิวเตอร์เข้าช่วยในการประมวลผล อย่างไรก็ตามจะได้กล่าวถึงแบบจำลองแบบอื่นๆ พอสังเขปด้วย

2.1 แบบจำลองการเกิดการเดินทาง (Trip Generation Model)

แบบจำลองการเกิดการเดินทาง เป็นแบบจำลองที่ใช้หาปริมาณการเดินทางที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างการเดินทาง (Trip) กับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเกิดการเดินทาง เช่น ลักษณะการใช้ที่ดิน (Land Use) ของพื้นที่หนึ่งๆ การเกิดการเดินทางแบ่งเป็น trip production และ trip attraction

trip production หมายถึง การเดินทางที่เกิดขึ้นจากพื้นที่ที่เป็นที่พักอาศัย (Residential zone) ซึ่งอาจจะเป็นจุดเริ่มต้น (Origin) หรือจุดปลายทาง (Destination) ของการเดินทางนั้นๆ เช่น การเดินทางออกจากบ้านหรือกลับบ้าน (Home-base trip)

trip attraction หมายถึง การเดินทางโดยมีจุดมุ่งหมายอื่นที่มิใช่จุดมุ่งหมายเพื่อการกลับที่พักอาศัย (Non Home-base trip) อันได้แก่ การเดินทางไปทำงาน ไปจ่ายตลาด เป็นต้น

ในการสร้างแบบจำลองการเกิดการเดินทางสามารถจำแนกเป็นวิธีการใหญ่ๆ ได้ 2 วิธีคือ

1. Aggregate Analysis
2. Disaggregate Analysis

Aggregate Analysis เป็นการวิเคราะห์การเกิดการเดินทางของทั้งระบบ ส่วน Disaggregate Analysis จะวิเคราะห์ถึงพื้นที่ย่อยของระบบ

ในการศึกษาการเกิดการเดินทางส่วนใหญ่อาศัยวิธีการวิเคราะห์แบบถดถอย (Regression Analysis) เพื่อจะสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการเดินทางที่เกิดขึ้นกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเกิดการเดินทาง ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ เช่น

$$T = aP + bE + C \qquad (2.1)$$

โดยที่ T = จำนวนการเกิดการเดินทาง (Trips)

P = จำนวนประชากรในพื้นที่ (Population)

E = จำนวนการจ้างงานในพื้นที่ (Employment)

a,b = ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง (Coefficient)

C = ค่าคงที่ (Constant)

2.2 แบบจำลองการกระจายการเดินทาง (Trip Distribution Model)

หลังจากที่ทราบปริมาณความต้องการในการเดินทางจากแบบจำลองการเกิดการเดินทางแล้ว การที่จะวิเคราะห์ว่าการเดินทางที่เกิดขึ้นจะเดินทางไปยังพื้นที่ใดบ้าง จะต้องอาศัยแบบจำลองการกระจายการเดินทางในการวิเคราะห์ดังกล่าว แบบจำลองการกระจายการเดินทางสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1. แบบจำลองสัดส่วนการเจริญเติบโต (Growth Factor Method)
2. แบบจำลองแรงดึงดูดของการเดินทาง (Gravity Model)
3. แบบจำลองโอกาสของการเดินทาง (Intervening Opportunity Model)

การที่จะใช้แบบจำลองใดในการดำเนินงานนั้นขึ้นอยู่กับข้อมูลที่สามารถหาได้และระยะเวลาในการดำเนินงาน

2.2.1 แบบจำลองสัดส่วนการเจริญเติบโต (Growth Factor Method)

แบบจำลองชนิดนี้เป็นแบบจำลองที่ง่ายที่สุดของแบบจำลองการกระจายการเดินทางโดยมีสมมุติฐานที่ว่า "การกระจายของการเดินทางในอนาคตจะเท่ากับผลคูณระหว่างการกระจายของการเดินทางระหว่างพื้นที่ที่เป็นอยู่ในปัจจุบันกับปัจจัยอันหนึ่งซึ่งปัจจัยนี้จะต้องสามารถสะท้อนถึงการเจริญเติบโตของพื้นที่นั้นๆ" (4) การสร้างแบบจำลองการกระจายของการเดินทางโดยใช้สมมุติฐานนี้ยังสามารถแบ่งออกได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้มากที่สุดคือ Fratar Method

วิธี Fratar นี้ใช้สมมุติฐานที่ว่า การเปลี่ยนแปลงของการเดินทางระหว่างพื้นที่จะแปรผันโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของการเดินทางที่จุดเริ่มต้นของพื้นที่และจุดปลายทางของพื้นที่ วิธีการนี้เหมาะสมที่จะใช้กับพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก เช่น พื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ของที่ดินน้อย หรือบริเวณที่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ

ข้อมูลที่จำเป็นจะต้องใช้จะประกอบด้วย ตารางการเดินทาง (trip table) หรือที่เรียกว่า ตารางแสดงจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง (Origin & Destination table) ในปีปัจจุบันหรือปีพื้นฐาน (base year) และจำนวนการเดินทางรวม (trip end) ของแต่ละพื้นที่ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งขั้นตอนในการหาการกระจายการเดินทางหรือการเดินทางระหว่างพื้นที่ (trip interchange) โดยวิธีนี้ จะมีการวิเคราะห์แบบเป็นรอบๆ (iterate) ไป ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$Tij\ (k+1) = (Tij(k)\ Fj(k))\ Fi(k) \qquad (2.2)$$

เมื่อ

$$Fj(k) = \frac{Tj}{\sum_{i=1}^{n} Tij\ (k)} \qquad (2.3)$$

$$Fi(k) = \frac{Ti}{\sum_{j=1}^{n} (Tij(k)Fj(k))} \qquad (2.4)$$

โดยที่

$Tij(k)$	=	จำนวนการเดินทางระหว่างพื้นที่ i และ j สำหรับรอบที่ k
$Fj(k)$	=	สัดส่วนการเจริญเติบโตของพื้นที่ปลายทาง j
$Fi(k)$	=	สัดส่วนการเจริญเติบโตของพื้นที่ต้นทาง i
Tj	=	จำนวนการเดินทางรวมที่คาดว่าจะเกิดขึ้นสำหรับพื้นที่ j
Ti	=	จำนวนการเดินทางรวมที่คาดว่าจะเกิดขึ้นสำหรับพื้นที่ i
i	=	เลขประจำตัวของพื้นที่ต้นทาง
j	=	เลขประจำตัวของพื้นที่ปลายทาง
k	=	หมายเลขรอบ เริ่มจากศูนย์

และเมื่อเริ่มแรกที่ k มีค่าเท่ากับศูนย์ ค่าต่างๆ ของรอบ k จะเป็นค่าที่ได้มาจากตารางแสดงจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางในปีฐาน การคำนวณจะดำเนินไปเรื่อยๆ จนกระทั่งค่า Fj(k) และ Fi(k) มีค่าเข้าใกล้ 1 ตัวอย่างของตารางแสดงจุดเริ่มต้นและจุดหมายปลายทาง แสดงดังรูปที่ 2.1

O \ D	1	2	3	รวม
1	4	5	6	15
2	5	6	4	15
3	6	4	5	15
รวม	15	15	15	45

O = จุดเริ่มต้น (Origin)

D = จุดปลายทาง (Destiuation)

1,2,3 ชื่อของพื้นที่

4,5,6 จำนวนการเดินทางระหว่างพื้นที่

15 จำนวนการเดินทางรวมของพื้นที่

45 ผลรวมของการเดินทางทั้งหมด

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างตารางแสดงจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง

2.2.2 <u>แบบจำลองแรงดึงดูดของการเดินทาง</u> (Gravity Model)

แบบจำลองชนิดนี้เป็นแบบจำลองที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการหาการกระจายการเดินทางโดยอาศัยการประยุกต์เอาทฤษฎีแรงดึงดูดระหว่างมวลของ Newton มาใช้ ซึ่งมีสมมุติฐาน คือ "การกระจายของการเดินทางระหว่างพื้นที่จะแปรผันโดยตรงกับ relative attraction ของแต่ละพื้นที่และจะแปรผกผันกับปัจจัยของ spatial seperation ระหว่างพื้นที่"(5) โดยทั่วไปมักใช้เวลาในการเดินทาง (travel time) เป็น spatial seperation ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Tij = \frac{Pi\ Aj\ Fij\ Kij}{\sum_{j=1}^{n}(Aj\ Fij\ Kij)} \qquad (2.5)$$

โดยที่ Tij = จำนวนการเดินทางที่เกิดในพื้นที่ i และถูกดึงดูดไปยังพื้นที่ j

Pi = จำนวนการเกิดการเดินทางที่พื้นที่ i

Aj = จำนวนการดึงดูดการเดินทางที่พื้นที่ j

Fij = องค์ประกอบที่มีผลต่อการเดินทาง ซึ่งมีค่า $\approx 1/t^n$ โดยที่ t คือ เวลาในการเดินทางระหว่างพื้นที่

และ n เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับค่าของเวลาในการเดินทาง จุดประสงค์ในการเดินทาง และจำนวนประชากร เป็นต้น

Kij = องค์ประกอบที่ใช้ในการปรับแก้จำนวนการเดินทางระหว่างพื้นที่อันเป็นผลมาจาก สภาพเศรษฐกิจสังคม ลักษณะการใช้ประโยชน์ของที่ดิน เป็นต้น

ในการใช้งานจะต้องมีการปรับแก้แบบจำลองแรงดึงดูดการเดินทางนี้ เพื่อที่จะให้แบบจำลองสามารถจำลองพฤติกรรมการกระจายการเดินทางในปัฐานให้ดีที่สุด อันจะส่งผลทำให้การคาดคะเนการกระจายของการเดินทางในอนาคตสามารถกระทำได้อย่างแม่นยำ

2.2.3 <u>แบบจำลองโอกาสของการเดินทาง</u> (Intervening Opportunities Model)

แบบจำลองโอกาสของการเดินทางมีลักษณะคล้ายคลึงกับแบบจำลองแรงดึงดูดของการเดินทาง โดยใช้สมมุติฐานที่ว่า "การกระจายของการเดินทางระหว่างพื้นที่ต้นทางและพื้นที่ปลายทาง จะเท่ากับจำนวนการเดินทางทั้งหมดที่เกิดจากพื้นที่ต้นทางคูณด้วยความน่าจะเป็นที่การเดินทางจากพื้นที่ต้นทางจะยอมรับพื้นที่ปลายทางนั้นเป็นจุดหมายปลายทางของการเดินทาง" (6) ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$Tij = OiP(Dj) \qquad (2.6)$$

$$P(Dj) = (e^{-LB} - e^{-LA}) \qquad (2.7)$$

เมื่อ L = ความน่าจะเป็นของการจะยอมรับเป็นจุดหมายปลายทาง

A = ผลรวมของจำนวนการเป็นจุดหมายปลายทางของการเดินทางทั้งหมดระหว่างพื้นที่ i และj และรวมจำนวนการเป็นจุดหมายปลายทางของพื้นที่ j

B = เช่นเดียวกับ A แต่ไม่รวมการเป็นจุดหมายปลายทางของพื้นที่ j

e = natural log มีค่าเท่ากับ 2.71828

Oi = จำนวนการเกิดการเดินทางทั้งหมดที่พื้นที่ i

2.3 แบบจำลองรูปแบบประเภทของการเดินทาง (Modal Split Model)

แบบจำลองดังกล่าวเป็นแบบจำลองสำหรับแสดงประเภทหรือชนิดของการเดินทาง เช่น เดินทางโดยรถยนต์ หรือรถโดยสาร เป็นต้น แบบจำลองรูปแบบประเภทของการเดินทาง จำแนกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1. Trip End Modal Split Model
2. Trip Interchange Modal Split Model

Trip End Modal Split Model หมายถึง แบบจำลองรูปแบบประเภทของการเดินทางที่แสดงก่อนการกระจายการเดินทาง ส่วน Trip Interchange Modal Split Model หมายถึง แบบจำลองรูปแบบประเภทของการเดินทางที่ใช้แสดงภายหลังจากมีการกระจายการเดินทางแล้ว

แบบจำลองรูปแบบประเภทของการเดินทางมักอาศัยข้อมูลทางด้านเศรษฐกิจสังคม เช่น รายได้ การศึกษา ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ฯลฯ เป็นพื้นฐาน และต้องอาศัยการคาดคะเนในการตัดสินใจของผู้เดินทาง (trip maker) ดังนั้น ในการสร้างแบบจำลองรูปแบบประเภทของการเดินทางมักจำเป็นจะต้องอาศัยข้อมูลจากการสัมภาษณ์ (interview) ด้วย

2.4 แบบจำลองจัดเส้นทางการเดินทาง (Traffic Assignment Model)

แบบจำลองจัดเส้นทางการเดินทาง เป็นแบบจำลองที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อแสดงลักษณะการกระจายของความต้องการในการเดินทางระหว่างพื้นที่หนึ่งๆ ลงบนโครงข่ายถนน (road network) ที่มีอยู่ ในระยะเริ่มแรกของการใช้เทคนิคนี้คือปี พ.ศ. 2493 เรียกว่า Two-path Traffic Assignment Method(7) มีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้ทำนายปริมาณยวดยานที่จะมาใช้ทางด่วน (freeway) แต่วิธีการ two-path นี้ได้มีปัญหาเกิดขึ้นมากมาย ปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งก็คือ แบบจำลองไม่สามารถที่จะจำลองพฤติกรรมของโครงข่ายถนนทั้งระบบได้ จึงได้มีการสร้างแบบจำลองขึ้นใหม่ เรียกว่า Single-path Traffic Assignment Method เพื่อที่จะใช้แก้ปัญหาดังกล่าวแต่ก็ยังมีข้อจำกัดคือ มีทางเลือกเพียงทางเดียวในการเดินทางจากพื้นที่หนึ่งไปยังพื้นที่อีกแห่งหนึ่ง จนกระทั่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการจนสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ทั้งหมด

2.4.1 วิธีการจัดเส้นทางการเดินทาง

วิธีการจัดเส้นทางการเดินทางคือ การที่จะกำหนดความต้องการในการเดินทางของคนและสิ่งของ ซึ่งมักแสดงในรูปของยวดยานที่ใช้ขนส่ง ระหว่างพื้นที่หนึ่งๆ ลงบนโครงข่าย

ถนนทั้งระบบ อันประกอบด้วยถนนสายหลักเท่านั้นไม่รวมถึงถนนซอยต่างๆ เทคนิคและวิธีการจัดเส้นทางการเดินทางได้มีการพัฒนาขึ้นมามากมาย และวิธีการเหล่านี้มักจะประกอบด้วยหลักสำคัญ 3 ประการคือ

1. การพิจารณาข้อกำหนดในการเลือกเส้นทางของผู้ขับขี่ยวดยาน (route selection criterea)
2. การสร้างเส้นทางในการเดินทางสำหรับการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย (tree building)
3. การกำหนดปริมาณการเดินทางลงบนเส้นทางการเดินทาง (allocating vehicle trip)

ข้อกำหนดในการเลือกเส้นทางนั้นจะเป็นการจำลองพฤติกรรมของผู้ขับขี่ยวดยานในการเลือกเส้นทางการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย (zone) เพียงเส้นเดียวท่ามกลางเส้นทางที่มีอยู่มากมาย Wardrop(8) ได้สร้างสมมุติฐานขึ้นมา 2 ข้อ เพื่อจะทำนายเส้นทางการเดินทางของผู้ขับขี่ยวดยาน คือ

1. เวลาในการเดินทางบนเส้นทางที่เกิดขึ้นจริง จะมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าเวลาที่เกิดขึ้นโดยรถเพียงคันเดียวบนถนนที่ว่างเปล่า
2. เวลาเฉลี่ยในการเดินทางของผู้ขับขี่ยวดยานทั้งหมด เป็นเวลาที่น้อยที่สุดซึ่งจะทำให้ค่าเวลารวมในการเดินทาง (total vehicle hours) มีค่าน้อยที่สุดด้วย

จากสมมติฐานดังกล่าวสามารถอธิบายได้ง่ายๆ ดังนี้คือ ข้อ 1 ผู้ขับขี่จะพิจารณาเวลาในการเดินทางของตัวเองเท่านั้นมิได้คำนึงถึงผลกระทบต่อทั้งระบบ ส่วนข้อ 2 ผู้ขับขี่จะพิจารณาผลกระทบต่อทั้งระบบซึ่งจะทำให้เวลารวมในการเดินทางมีค่าน้อยที่สุด

ได้มีการศึกษาพฤติกรรมการเลือกเส้นทางการเดินทางของผู้ขับขี่ยวดยานขึ้นอีกมากมาย ซึ่งแต่ละพฤติกรรมมีลักษณะคล้ายคลึงกับสมมติฐานของ Wardrop แต่ไม่สามารถสรุปแน่ชัดได้ว่าสมมติฐานของ Wardrop ข้อใดมีความถูกต้องมากกว่ากัน อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้วในแบบจำลองจัดเส้นทางการเดินทางมักจะเลือกสมมติฐานข้อ 1 เป็นพื้นฐาน

ในการสร้างเส้นทางการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยนั้น ภายหลังจากได้ข้อกำหนดในการเลือกเส้นทางของผู้ขับขี่แล้ว ก็จะทำการเลือกเส้นทางบนโครงข่ายถนน ซึ่งบางกรณีก็จะพิจารณาเฉพาะเวลาที่ใช้ในการเดินทาง ซึ่งเป็นเส้นทางที่ใช้เวลาน้อยที่สุด บางกรณีก็จะมีการพิจารณาสิ่งต่างๆ เพิ่มขึ้น โดยจะเรียกเส้นทางที่สั้นที่สุดนี้ว่า n-best paths ซึ่งจะอธิบายใน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อ 2.4.6

สำหรับการกำหนดปริมาณการเดินทางลงบนโครงข่ายถนนนั้นมีหลายวิธี ได้แก่ วิธี all-or-nothing วิธี capacity restrained วิธี multipath assignment และวิธี equilibrium assignment ซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อ 2.4.7

2.4.2 คุณลักษณะการเคลื่อนตัวของการจราจร (Traffic Flow Characteristic)

ในแบบจำลองจัดเส้นทางการเดินทางสิ่งสำคัญประการหนึ่งที่จำเป็นจะต้องทราบ คือ คุณลักษณะการเคลื่อนตัวของการจราจรบนโครงข่ายถนน คุณลักษณะการเคลื่อนตัวของการจราจรสามารถแสดงได้ด้วยตัวแปร 3 ชนิดคือ ปริมาณการจราจร (volume หรือ flow, v) ความหนาแน่นของการจราจร (density หรือ concentration, d) และความเร็ว (speed, u)

ปริมาณการจราจร คือ จำนวนยวดยานที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่งที่กำหนดในหนึ่งหน่วยเวลาโดยทั่วไป มักมีหน่วยเป็น คัน/ชั่วโมง

ความหนาแน่นของการจราจร คือ จำนวนยวดยานต่อหนึ่งหน่วยความยาวของถนน โดยทั่วไปมักแสดงเป็นจำนวนคันต่อไมล์หรือต่อกิโลเมตร

ความเร็ว คือ ระยะทางที่ยวดยานสามารถเคลื่อนที่ไปได้ในหนึ่งหน่วยเวลา มักมีหน่วยเป็นไมล์/ชั่วโมง หรือกิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งแสดงได้ 2 รูปแบบคือ space mean speed และ time mean speed

space mean speed ($\bar{U}s$) คือ ค่าเฉลี่ยของความเร็วของยวดยานที่เคลื่อนที่ไปบนเส้นทางที่กำหนด ส่วน time mean speed ($\bar{U}t$) คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (arithmatic mean) ของความเร็วของยวดยานที่ผ่าน ณ จุดกำหนดในหนึ่งหน่วยเวลา ในการจำลองแบบการเดินทางมักแสดงในรูปของ space mean speed ดังนั้น ปริมาณการจราจร ความหนาแน่นของการจราจรและความเร็วจะมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$v = \bar{U}_s d \qquad (2.8)$$

v = ปริมาณการจราจร

$\bar{U}s$ = space mean speed

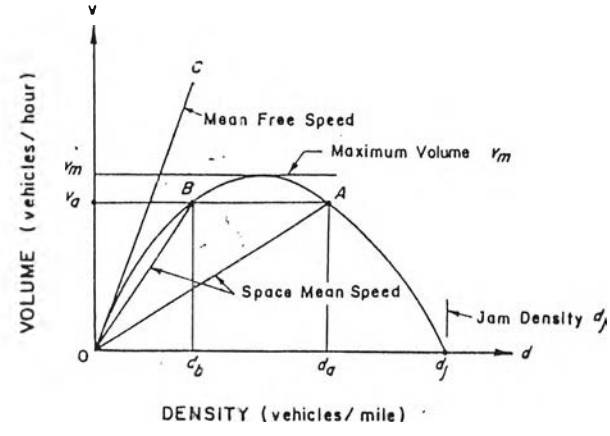
d = ความหนาแน่นของการจราจร

2.4.3 <u>รูปแบบพื้นฐานของการเคลื่อนตัวของการจราจร</u> (Fundamental Diagram of Traffic Flow)

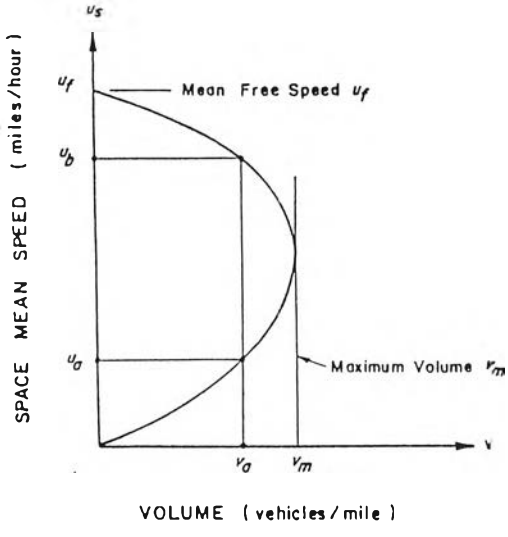
รูปแบบพื้นฐานของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรบนท้องถนนกับความหนาแน่นของการจราจรซึ่งได้มาจากการสังเกตพฤติกรรมของการจราจร (๑) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 ที่จุดเริ่มต้นเมื่อปริมาณการจราจรมีค่าเป็นศูนย์ ความหนาแน่นของการจราจรก็จะมีค่าเป็นศูนย์ด้วย และ ณ จุดที่มีความหนาแน่นของการจราจรมากที่สุดซึ่งทำให้เกิดการจราจรติดขัด (jam) ปริมาณการจราจรในขณะนั้นจะเป็นศูนย์ ส่วนจุดที่มีปริมาณการจราจรสูงสุดจะอยู่ระหว่าง 2 จุดข้างต้น ซึ่งเรียกว่า ความจุของถนน (capacity)

จากสมการ 2.8 ในหัวข้อ 2.4.2 space mean speed ($\bar{u}_s$) จะมีค่าเท่ากับปริมาณการจราจรหารด้วยความหนาแน่นของการจราจร ดังนั้นค่าความชันของเส้นตรง OA ในรูปที่ 2.2 ก็คือ space mean speed ที่ปริมาณการจราจรมีค่าเท่ากับ v_a และมีความหนาแน่นของการจราจรเท่ากับ d_a และในทำนองเดียวกันค่าความชันของเส้นตรง OB ก็หมายถึง space mean speed ที่ค่าความหนาแน่นของการจราจรเท่ากับ d_b ส่วนที่ตำแหน่งความหนาแน่นเท่ากับ d_j space mean speed จะมีค่าเท่ากับศูนย์ และที่ตำแหน่งที่ปริมาณการจราจรและความหนาแน่นของการจราจรมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ space mean speed จะมีค่าเท่ากับ ความเร็วที่เคลื่อนผ่านโดยสะดวก (mean free speed, u_f) ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง space mean speed กับปริมาณการจราจรในรูปที่ 2.3 และแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง space mean speed กับความหนาแน่นของการจราจรในรูปที่ 2.4

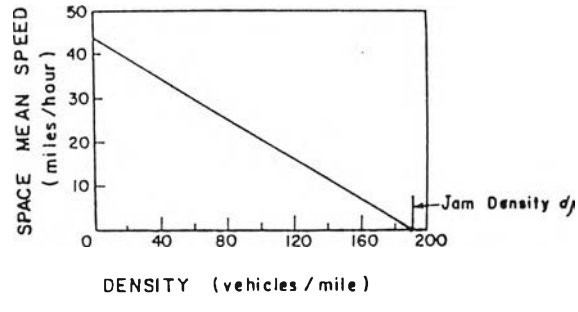
ในแบบจำลองจัดเส้นทางการเดินทาง (traffic assignment model) นั้น ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินทางบนถนนกับปริมาณยวดยานบนถนนจะเป็นสิ่งสำคัญที่สุด ที่ใช้ในการเลือกเส้นทางการเดินทาง รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินทางกับปริมาณการจราจรซึ่งได้มาจากรูป 2.3 การโค้งกลับของเส้นกราฟอาจจะเกิดขึ้นเฉพาะบนทางด่วน (freeway) แต่จะไม่เกิดกับถนนธรรมดาที่ไม่มีการควบคุมการเข้าออก (not controlled access road) ดังนั้นการศึกษาในด้านนี้มักแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินทางกับปริมาณการจราจร ดังเส้นประในรูปที่ 2.5 ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงที่เป็นส่วนโค้งกลับของเส้นกราฟนั้นเป็นช่วงที่เรียกว่า unstable flow ซึ่งไม่สามารถที่จะแสดงโดยค่าทางคณิตศาสตร์ของเวลาที่ใช้ในการเดินทางได้



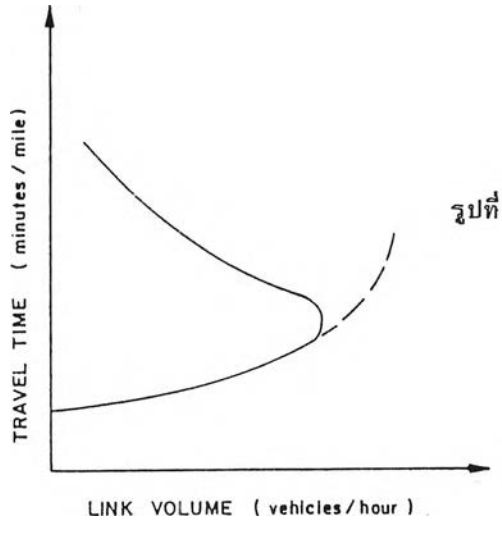
รูปที่ 2.2 รูปแบบพื้นฐานของการเคลื่อนตัวของการจราจรบนถนน



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง space mean speed กับปริมาณการจราจร



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง space mean speed กับความหนาแน่นของการจ



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเดินท
กับปริมาณการจราจร

013063

2.4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรกับเวลาที่ใช้ในการเดินทาง

(Flow-Travel Time Relationship)

Davidson(10) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเดินทางกับปริมาณการจราจร โดยอาศัยพื้นฐานจาก Queuing Theory ซึ่งได้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินทางกับปริมาณการจราจรต่อมาโดยความล่าช้า (delay) ที่เกิดจากการเข้าและออก (arrivals และ services) ชนิดสุ่ม (random) จะสามารถได้ดังนี้

$$w_v = \frac{C^2}{h(1-C)} \qquad (2.9)$$

โดย w_v = ความล่าช้าต่อคัน

h = อัตราการเคลื่อนตัวเข้า (anival rate)

u = อัตราการเคลื่อนตัวออก (service rate)

C = h/u

และเพื่อที่จะแสดงความสัมพันธ์ในรูปของเวลาที่ใช้ในการเดินทางกับปริมาณการจราจร Davidson จึงได้เปลี่ยน service time เป็น travel time ของยวดยานในขณะที่ไม่มียวดยานคันอื่นใช้ถนน และ Queuing delay ที่เกิดขึ้นจะเป็น travel time ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมียวดยานมาใช้ถนนเพิ่มขึ้น ดังนั้น สมการ 2.9 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{W_v C}{1/u} = \frac{C^2 u}{h(1-C)} = \frac{h^2}{u^2} \cdot \frac{u}{u} \cdot \frac{1}{1-C} = \frac{C}{1-C} \qquad (2.10)$$

และกำหนดให้ service time (travel time) มีค่าเท่ากับ to

ดังนั้น $$\frac{W_v}{to} = \frac{C}{1-C} \qquad (2.11)$$

แต่ Davidson ได้พบว่า ความล่าช้าไม่ได้เกิดจากสภาวะ Queuing แต่เพียงอย่างเดียว เขาจึงได้ปรับปรุงสมการใหม่ดังนี้

$$W_v = to.J.\frac{C}{1-C} \qquad (2.12)$$

โดยที่ J = ค่าตัวแปรซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของถนนและความถี่ในการเกิดความล่าช้าบนถนน

ดังนั้นจึงสามารถแสดงความสัมพันธ์ของ travel time ได้ดังนี้

$$t = to + W_v \qquad (2.13)$$

$$t = to(1+J.\frac{C}{1-C}) = to.\frac{1-C(1-J)}{1-C} \qquad (2.14)$$

จากสมการข้างต้นสามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 2.6 ซึ่งมีลักษณะคล้ายรูปที่ 2.7 ที่ได้มาจากการสำรวจและเก็บข้อมูลที่ Toronto(11) และค่าที่สอดคล้องกับสมการมากที่สุดคือที่ S มีค่าเท่ากับ 841 pcu* / ชั่วโมง J = 0.117 และto = 3.05 นาทีต่อไมล์ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับความเร็ว 19.6 ไมล์ต่อชั่วโมง หรือ 31.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเดินทางกับปริมาณการจราจรต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร ซึ่งพัฒนาโดย Metropolitan Toronto and Region Transportation Study(11) หลังจากนั้นได้มีการศึกษาเพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับปริมาณการจราจร ดังเช่น ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับปริมาณการจราจรบนถนนชานเมืองในสหราชอาณาจักร ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$v = v_o + s\left[\frac{q-300}{1000}\right] \qquad (2.15)$$

โดยที่ v = ความเร็ว กม./ชม.

q = ปริมาณการจราจรในทิศทางเดียวต่อช่องจราจรต่อชั่วโมง

v_o = ความเร็วที่เคลื่อนตัวผ่านได้โดยสะดวก (free flow speed), กม./ชม. หรือ เป็นความเร็วในขณะที่ q มีค่าเท่ากับ 300 คัน/ชม./ช่องจราจร

s = ค่าความชันของความสัมพันธ์แบบเส้นตรงระหว่าง v และ q

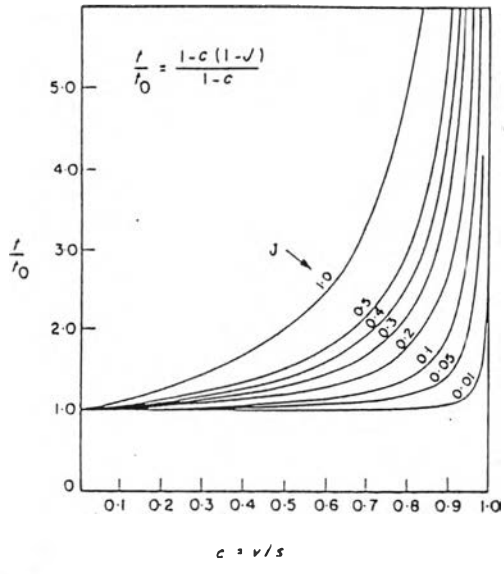
ค่าความชัน s สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$s = -25-\frac{4}{3}\left[V_o-(50+0.1d)\right]-30\,(i-0.8)-0.4\,(b-65) \qquad (2.16)$$

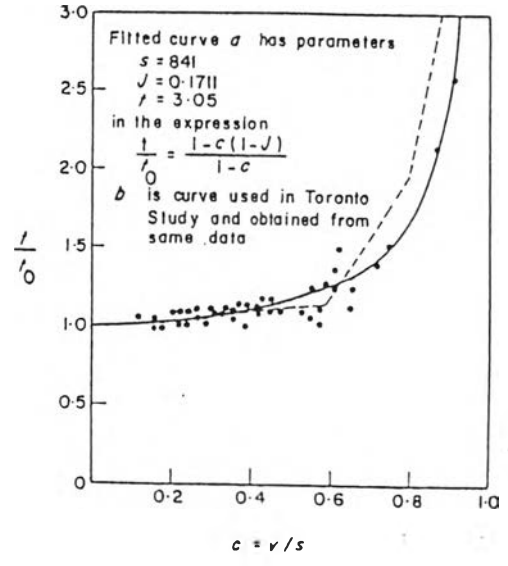
โดย d = สัดส่วนของจำนวนช่องจราจรแบบ dual carriage way โดยคิดเป็นร้อยละ

---

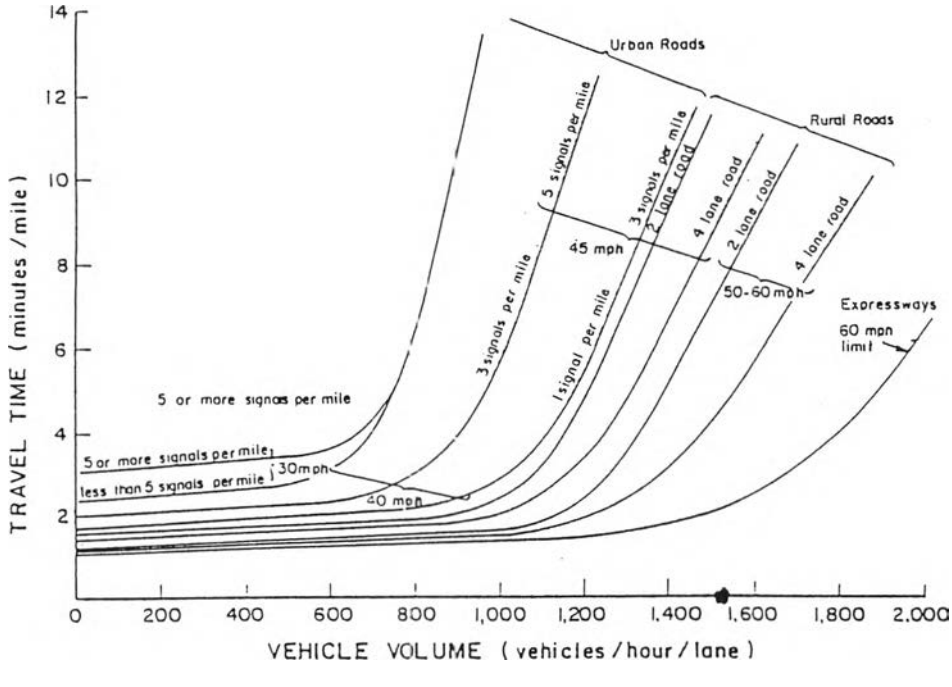
* pcu = passenger car unit



รูปที่ 2.6 แสดงเส้นกราฟของสมการ (2.14)



รูปที่ 2.7 การเปรียบเทียบสมการ (2.14) กับข้อมูลจากการสำรวจที่ Toronto

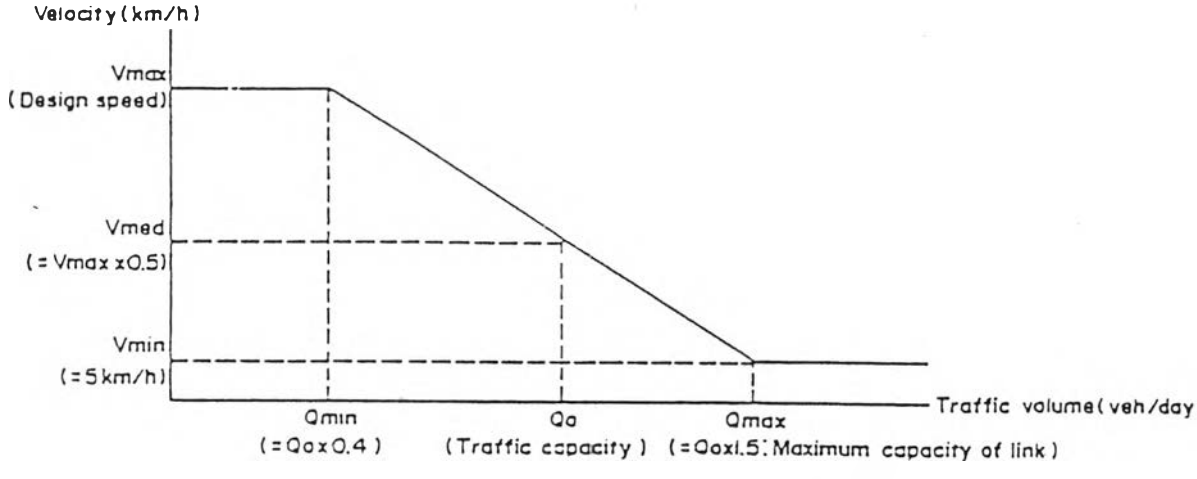


รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเดินทางกับปริมาณการจราจรใน Toronto

i = ความหนาแน่นของทางแยกโดยแสดงเป็นจำนวนทางแยกต่อความยาว 1 กิโลเมตร

b = สัดส่วนของพื้นที่สองข้างทางที่ได้มีการพัฒนาแล้วแสดงเป็นร้อยละ

สำหรับในประเทศไทยก็ได้มีการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับปริมาณการจราจรในกรุงเทพมหานคร ดังเช่น การศึกษาความเหมาะสมของระบบทางด่วนขั้นที่สองในกรุงเทพมหานคร (12) โดย Japan International Cooperation Agency (JICA) ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับปริมาณการจราจรโดย JICA

โดยที่ Vmax = Designed Speed

Vmed = Vmax x 0.5

Vmin = 5 กม./ชม.

Qo = Traffic Capacity

Qmin = Qo x 0.4

Qmax = Qo x 1.5 = Maximum Capacity of link

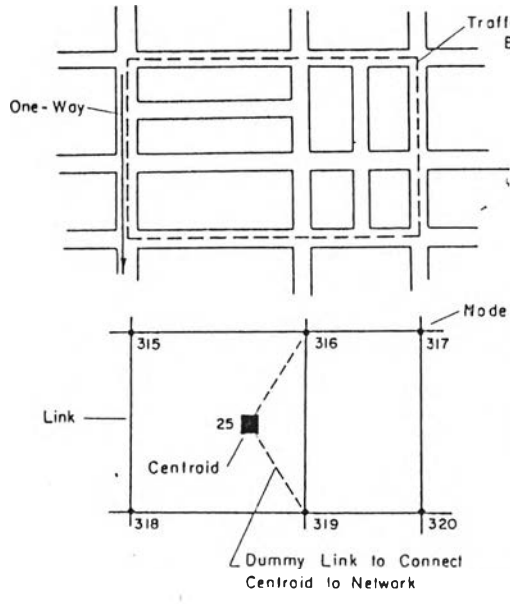
2.4.5 การจำลองโครงข่ายถนน (Network Representation)

ในการจำลองแบบการเดินทาง จำเป็นจะต้องจำลองโครงข่ายถนนให้เป็นรหัสตัวเลข (coding) เพื่อง่ายแก่การคำนวณและเรียกชื่อ โดยจะแทนถนนสายหลักด้วย links และแทนทางแยกด้วย nodes และในการจำลองแบบการเดินทางจำเป็นจะต้องแบ่งพื้นที่ที่ทำการศึกษาออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ (zone) ซึ่งในแต่ละพื้นที่ย่อยจะมีลักษณะและพฤติกรรมการเดินทางคล้ายคลึงกัน โดยที่แต่ละพื้นที่ย่อยจะมีจุดศูนย์กลางซึ่งเรียกว่า centroid เป็นจุดที่ใช้เป็นทางเข้าและออก ของพื้นที่ย่อยนั้นโดยผ่าน dummy link ซึ่งจะต่อไปยัง node ของโครงข่ายถนน ชื่อของ nodes, links และ centroids จะใช้เป็นตัวเลขทั้งหมด ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.10

2.4.6 วิธีการเลือกเส้นทางการเดินทาง (Route Building Algorithms)

ในแบบจำลองจัดเส้นทางการเดินทาง ส่วนที่ยากที่สุดคือ การเลือกเส้นทางการเดินทาง (Route Selection) ซึ่งได้ทำให้การพัฒนาแบบจำลองการเดินทางในอดีตไม่สามารถกระทำได้อย่างสมบูรณ์ จนกระทั่งเมื่อปี พ.ศ. 2500 E.F.Moore ได้เขียนบทความเรื่อง "The Shortest Path Through a Mase"[13] ขึ้นซึ่งได้แสดงวิธีการเลือกเส้นทางในการเดินทางที่เป็นที่นิยมใช้กันมาจนถึงทุกวันนี้ วิธีการเลือกเส้นทางการเดินทางของ Moore เป็นวิธีการเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างพื้นที่ย่อย (O-D pairs) ซึ่งจะเรียกเส้นทางนี้ว่า tree วิธีการก็คือการใส่ชื่อ (label) ให้ node แต่ละ node ในโครงข่ายถนน สำหรับทุกๆ centroid เช่น node j ชื่อ $\left[i, d(j)\right]$ โดย i = node ที่มี impedance กลับไปยังพื้นที่ย่อย j น้อยที่สุด และ d(j) = ค่าimpedance ที่สั้นที่สุดจาก node j กลับไปยัง centroid ของพื้นที่ย่อย ซึ่ง impedane นี้หมายถึง ตัวแปรเพื่อการตัดสินใจในการเดินทาง ซึ่งตามปกติจะมีอยู่ 4 ตัวคือ เวลาในการเดินทาง ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ความสะดวกสบายในการเดินทาง และระยะทางในการเดินทาง โดยนำตัวแปรตัวใดตัวหนึ่ง หรือหลายตัวประกอบกัน ปรับปรุงขึ้นเป็นค่าตัวแปรตัวใหม่ แต่โดยมากมักใช้เวลาในการเดินทาง ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการตัดสินใจในการเลือกเส้นทาง และเป็นค่าที่สามารถวัดได้ง่าย เป็น impedane

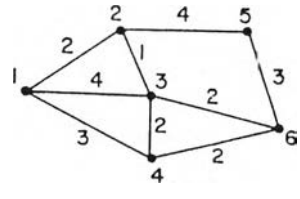
ในตอนเริ่มแรกของวิธีการเลือกเส้นทางการเดินทางของ Moore จะกำหนดให้ทุกๆ node ในโครงข่ายถนนมีค่า d(j) สูงๆ เช่น 999 ยกเว้นจุดเริ่มต้นการเดินทาง ซึ่งจะเป็น centroidสำหรับ tree นั้น จะมีค่าเท่ากับศูนย์ และเมื่อ tree ถูกสร้างจากจุดเริ่มต้นจะเกิดผลรวมสะสมซึ่งจะเรียกว่า sum ขึ้นสำหรับแต่ละ node โดย sum ของ



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการจำลองโครงข่ายถนนให้เป็นรหัสตัวเลข

Node From	Node To	Distance (miles)	Speed (mph)
315	316	0·7	20
315	318	0·6	25
316	315	0·7	20
316	317	0·5	20
317	316	0·5	15
317	320	0·6	20
318	319	0·7	20
319	318	0·7	20

COMPUTER DESCRIPTION



Origin node 1
node 1 label = (–,0)

node 2 sum = 0 + 2 = 2
2 < 999 node 2 label = (1,2) node 2 connected to 1

node 3 sum = 0 + 4
4 < 999 node 3 label = (1,4) node 3 connected to 1

node 4 sum = 0 + 3 = 3
3 < 999 node 4 label = (1,3) node 4 connected to 1

node 3 sum = 2 + 1 = 3
3 < 4 node 3 label = (2,3) node 3 connected to 2

node 5 sum = 2 + 4 = 6
6 < 999 node 5 label = (2,6) node 5 connected to 2

node 4 sum = 4 + 2 = 6
6 > 3 node 4 label = (1,3) node 4 connection remains

node 6 sum = 4 + 2 = 6
6 < 999 node 6 label = (3,6) node 6 connected to 3

node 6 sum = 3 + 2 = 5
5 < 6 node 6 label = (4,5) node 6 connected to 4

node 6 sum = 6 + 3 = 9
9 > 5 node 6 label = (4,5) node 6 connection remains

รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการสร้าง tree โดยวิธีของ Moore

node j จะมีค่าเท่ากับ $\left[d(i) + l(i,j)\right]$

ซึ่ง d(i) = ค่า impedance จากจุดเริ่มต้นไปยัง node i ซึ่งเพิ่งจะต่อเชื่อมกับจุดเริ่มต้น

l(i,j) = ค่า impedance ของ link ซึ่งต่อเชื่อม node j กับ node i

ถ้าหากค่า sum ของ node j มีค่ามากกว่า d(j) label ของ j ก็จะคงเดิม แต่ถ้าหากค่า sum ของ node j มีค่าน้อยกว่า d(j) label ของ j จะเปลี่ยนโดยแทนค่า d(j) ด้วย d(j) ใหม่ และค่า i ก็เปลี่ยนไปด้วย ค่า sum นี้จะถูกตรวจสอบไปเรื่อยๆ ยัง nodeที่อยู่ถัดไปจนกระทั่งครบทุกๆ node ตัวอย่างการสร้าง tree โดยวิธีของ Moore แสดงในรูปที่ 2.11

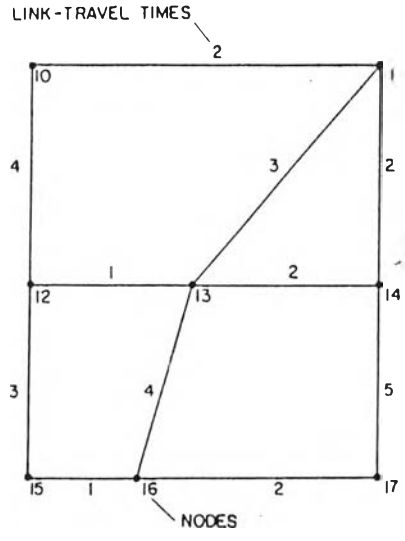
ต่อมา Shortreed และ Wilson(14) ได้ปรับปรุงวิธีของ Moore ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นโดยการแก้ไข node label ซึ่งได้สร้างเป็นวิธีการ 3 ขั้นตอนคือ 1. สร้าง tree table 2. สร้าง link table และ 3. สร้าง list

tree.table สำหรับแต่ละ centroid จะแสดงเส้นทางที่สั้นที่สุดจาก node ต่างๆ กลับไปยัง centroid ซึ่ง tree table จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนพื้นที่ย่อยของพื้นที่ที่ทำการศึกษา link table จะแสดง link ทั้งหมดในโครงข่ายถนน โดยแสดงในรูปของ node เริ่มต้น และ node สิ้นสุด พร้อมทั้งแสดงค่า impedance ระหว่าง node นั้นๆ ด้วย ส่วน list คือ ตารางแสดง link ทั้งหมดที่สามารถต่อเชื่อมกับ node ที่ต้องการได้ พร้อมทั้งแสดง impedance ในการเดินทางด้วย

เพื่อที่จะอธิบายวิธีการข้างต้น จึงได้สร้างตัวอย่างโครงข่ายถนนแบบง่ายๆ ดังรูปที่ 2.12 พร้อมทั้งแสดงวิธีการสร้างเส้นทางที่สั้นที่สุดสำหรับ centroid 15 โดยเริ่มจาก link table สำหรับโครงข่ายถนนนี้ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.1 และวิธีการสร้างเส้นทางที่สั้นที่สุดสามารถแสดงได้ดังนี้

1. สร้าง tree table โดยให้ impedance ซึ่งในที่นี้จะใช้เวลาในการเดินทางเพียงอย่างเดียวของทุกๆ node ยกเว้น centroid มีค่าเท่ากับ 999 ส่วน centroid มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

2. สร้าง list สำหรับทุกๆ node ที่สามารถต่อเชื่อมกับ node ที่เพิ่งจะใส่ลงใน tree table ในกรณีเริ่มแรกคือ node 15 ซึ่งเป็น centroid ที่สมมุติขึ้น



รูปที่ 2.12 โครงข่ายถนนตัวอย่าง

Node From	Node To	Travel time
10	11	2
10	12	4
11	10	2
11	13	3
11	14	2
12	10	4
12	13	1
12	15	3
13	12	1
13	11	3
13	14	2
14	13	2
14	11	2
14	17	5
15	12	3
15	16	1
16	15	1
16	13	4
16	17	2
17	16	2
17	15	5

ตารางที่ 2.1 Link table ของโครงข่ายถนนตัวอย่าง

Node To	Total time	Node From
10	999	0
11	999	0
12	999	0
13	999	0
14	999	0
15	0.0	0
16	999	0
17	999	0

ตารางที่ 2.2 Tree table เริ่มแรกของโครงข่ายถนนตัวอย่าง

3. ตรวจสอบใน list ถ้าหากค่าเวลาที่ใช้ในการเดินทางไปยัง "Node To" รวมกับเวลารวมจากจุดเริ่มต้นน้อยกว่า เวลาในการเดินทางของ tree table ก็นำไปใส่ใน tree table

4. กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่ง listถูกกระทำจนครบทั้งหมด

ขั้นตอนในการสร้าง tree ของรูปที่ 2.12 สามารถแสดงได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้าง tree table

ขั้นตอนที่ 2 สร้าง list ดังนี้

Node From	Noce To	เวลาในการเดินทาง
15	12	3
15	16	1

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบ

0.0+3 $<$ 999 นำ node 12 ไปใส่ใน tree table

0.0+1 $<$ 999 นำ node 16 ไปใส่ใน tree table

tree table จะถูกสร้างขึ้นใหม่ดังแสดงในตารางที่ 2.3 แล้วกลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ใหม่

Node From	Node To	เวลาในการเดินทาง
12	10	4
12	13	1
16	13	4
16	17	2

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบ

3+4 $<$ 999 นำ node 10 ไปใส่ใน tree table

3+1 $<$ 999 นำ node 13 ไปใส่ใน tree table

1+4 $\nless$ 4 ไม่นำไปใส่ใน tree table

1+2 $<$ 999 นำ node 17 ไปใส่ใน tree table

Node To	Total time	Node From
10	999	0
11	999	0
12	3	15
13	999	0
14	999	0
15	0.0	
16	1	15
17	999	0

ตารางที่ 2.3 Tree table ที่ปรับแก้แล้วในรอบแรก

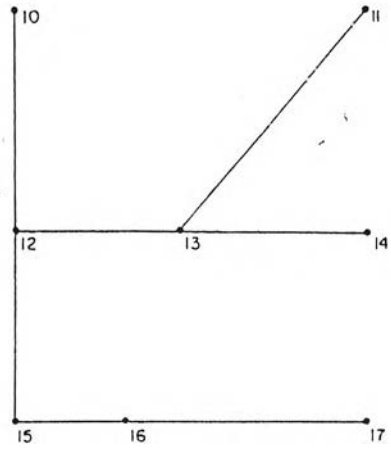
Node To	Total time	Node From
10	7	12
11	999	0
12	3	15
13	4	12
14	999	0
15	0.0	
16	1	15
17	3	16

ตารางที่ 2.4 Tree table ที่ปรับแก้แล้วในรอบที่สอง

Node To	Total time	Node From
10	7	12
11	7	13
12	3	15
13	4	12
14	6	13
15	0.0	
16	1	15
17	3	16

ตารางที่ 2.5 Tree table ครั้งสุดท้ายของ centroid 15

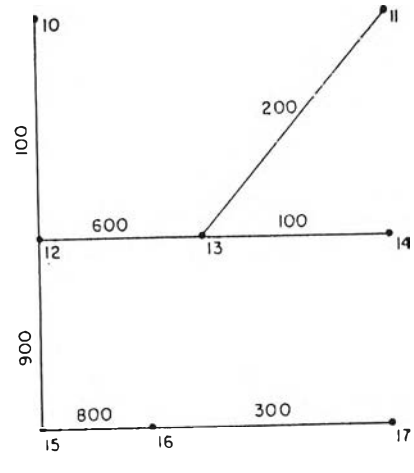
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.13 Minimum path tree ของ centroid 15

ตารางที่ 2.6 ตารางแสดงจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางการเดินทางของ centroid 15

ORIGIN NODE	DESTINATION NODE						
	10	11	12	13	14	16	17
15	100	200	200	300	100	500	300



รูปที่ 2.14 ปริมาณการจราจรเนื่องจาก centroid 15

tree table จะถูกสร้างใหม่อีกดังแสดงในตารางที่ 2.4

วิธีการข้างต้น จะถูกกระทำซ้ำๆ กันไปเรื่อยๆ จนกระทั่ง list ทั้งหมดถูกตรวจสอบ ซึ่งหมายถึง node ทุกๆ node จะถูกตรวจสอบด้วย ซึ่งแสดงผลในตารางที่ 2.5 เส้นทางที่สั้นที่สุดสำหรับ centroid 15 จะสามารถอ่านได้อย่างง่ายดายจาก tree table ดังกล่าว

ส่วนเส้นทางการเดินทาง (tree path) ของโครงข่ายถนนสำหรับ centroid 15 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13 และถ้าหากตารางแสดงจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางการเดินทาง (O-D table) ของ centroid 15 แสดงตามตารางที่ 2.6 ดังนั้นปริมาณการจราจรบน links ต่างๆ เนื่องจาก centroid 15 สามารถแสดงดังรูปที่ 2.14

2.4.7 <u>วิธีการกำหนดปริมาณการจราจรลงบนโครงข่ายถนน</u>

(Assignment Techniques)

หลังจากที่ได้มีการสร้างเส้นทางการเดินทางแล้ว ก็จะกำหนดปริมาณการจราจรซึ่งนำมาจากตารางแสดงจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางการเดินทางลงบนเส้นทางเหล่านั้น วิธีการในการกำหนดปริมาณการจราจรลงบนโครงข่ายถนนมีหลายวิธี แต่วิธีหลักๆ ที่นิยมใช้มีด้วยกัน 4 วิธีคือ

1. All-or-Nothing Assignment Technique เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย สะดวกในการใช้ และมีแนวโน้มที่จะเกิดการผิดพลาดเนื่องจากการกำหนดปริมาณการจราจรลงบนโครงข่ายถนนได้น้อยที่สุด วิธีการก็คือ ภายหลังจากได้ tree path ของแต่ละพื้นที่ย่อยจากขั้นตอนการเลือกเส้นทางแล้ว ก็จะกำหนดปริมาณความต้องการในการเดินทางทั้งหมดระหว่างแต่ละพื้นที่ย่อย (O-D pairs) ลงบนเส้นทางเหล่านั้น ซึ่งผลที่ได้รับเบื้องต้นจะเป็น desire lines

2. Capacity Restrained Assignment Technique เนื่องจากเมื่อปริมาณการจราจรบน links ของโครงข่ายถนนมีค่าใกล้เคียงกับความจุของถนนก็จะเกิด Unstable flow ขึ้น อีกทั้งในสภาพความเป็นจริงแล้วปริมาณการจราจรบนถนนจะไม่สามารถเกินค่าความจุของถนนได้ ดังนั้นการกำหนดปริมาณการจราจรลงบนโครงข่ายถนนด้วยวิธีนี้ จะพยายามที่จะไม่ให้ปริมาณการจราจรเกินค่าความจุของถนน หรือพยายามที่จะจำกัดปริมาณการจราจรบน links ด้วยความจุของมัน ตัวอย่างของการใช้เทคนิคนี้ เช่น วิธีของ Wayne วิธีของ Mosher และ Tomlim วิธีของ Traffic Research Corporation และวิธีของ FHWA (Federal Highway Administration) แต่วิธีที่เป็นพื้นฐานของเทคนิคนี้และเป็นที่นิยมใช้กันได้แก่วิธีของ FHWA(6) โดยวิธีนี้จะเพิ่มเวลาการเดินทางบน link เมื่อ

มีปริมาณการจราจรต่อความจุของถนนมากขึ้น โดยจะสอดคล้องกับความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับปริมาณการจราจรบนถนนนั้นๆ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของ เวลาในการเดินทางบนถนนด้วยสมการดังนี้

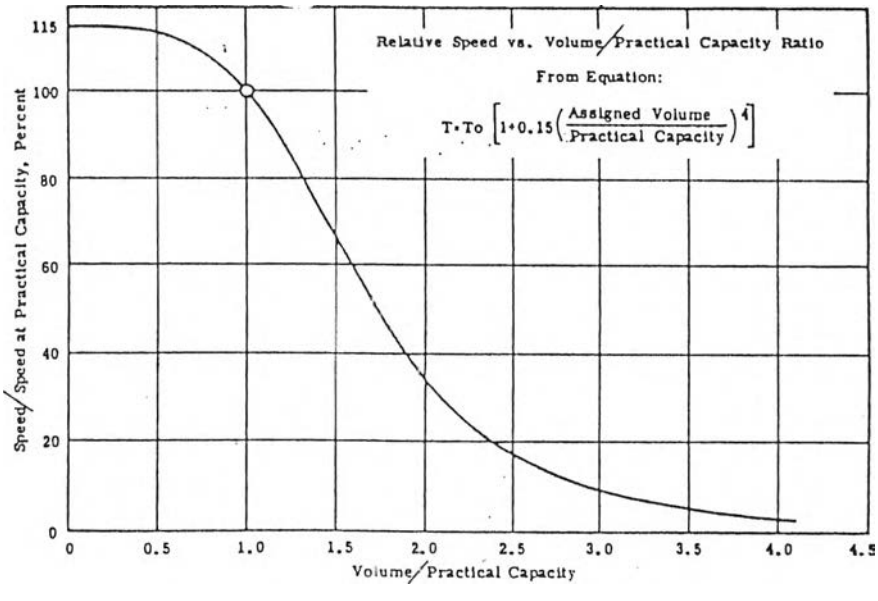
$$T = To\left[1+0.15\ (V/c)^4\right] \qquad (2.17)$$

T = เวลาที่ใช้ในการเดินทางบน link เมื่อมีปริมาณการจราจรเท่ากับ V

To = เวลาที่ใช้ในการเดินทางขณะที่ยังไม่มีปริมาณการจราจรบนถนน (free flow travel time)

C = ความจุของถนน (practical capacity)

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่ใช้ในการเดินทางกับปริมาณการจราจรต่อความจุของถนนใดๆซึ่งได้มาจากสมการดังกล่าวนี้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่ใช้ในการเดินทางกับปริมาณการจราจรต่อความจุบนถนนใดๆ โดย FHWA

3. Multipath Assignment Techniques ในสภาพของความเป็นจริงนั้น การเลือกเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดระหว่างพื้นที่ย่อย มิได้มีเพียงเส้นทางเดียว อาจมีได้หลายเส้นทางทั้งนี้ขึ้นกับตัวแปรหลายอย่าง เช่น เวลาในการเดินทาง ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ความสะดวกสบายในการเดินทางอุบัติเหตุ และอื่นๆ อีกมากมาย ดังนั้นการกำหนดปริมาณการจราจรลงบนโครงข่ายถนนโดยวิธีนี้ จะพยายามหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นไปได้แล้วกำหนดปริมาณการจราจรลงบนเส้นทางดังกล่าว ในปริมาณที่ต่างๆ กัน ทั้งนี้ต้องอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็น (probability) เข้าช่วย การกำหนดปริมาณการจราจรลงบนโครงข่ายถนนที่ใช้เทคนิคนี้ได้แก่ วิธีของ Mc Laughlin[15] วิธีของ Burrell[16] และวิธีของ Dial[17]

4. Equilibrium Assigment Techniques วิธีนี้เป็นการนำเอาสมมติฐานของ Wadrop ข้อที่ 2 มาใช้ โดยจะมีการตรวจสอบให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง (travel cost) ของทั้งระบบมีค่าน้อยที่สุด ตัวอย่างของการใช้วิธีนี้คือ วิธีของ Yosef Sheffi[18]