



Chapter 6

การกระจายการเดินทาง

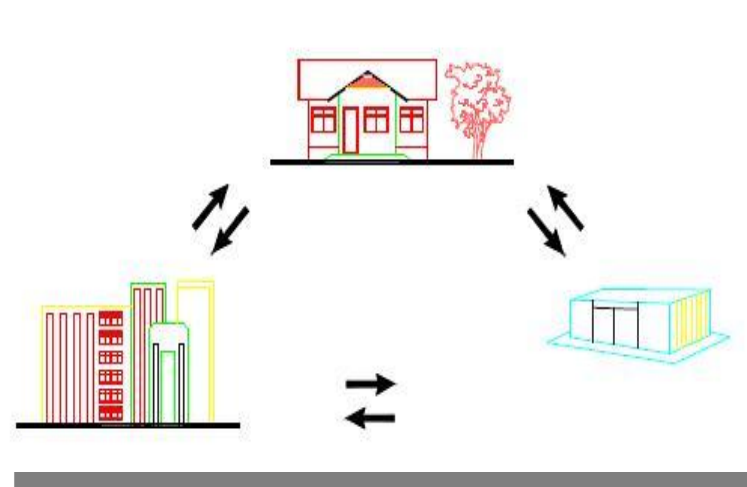
Trip Distribution

by Assist. Prof. Thaned Satiennam





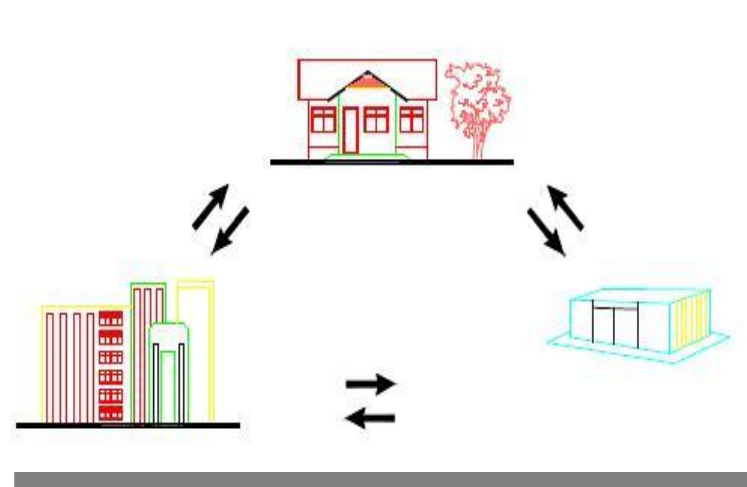
บทนำ



- หน้าที่ของแบบจำลองกระจายการเดินทาง คือ กระจาย การสร้างการเดินทาง (การเกิดการเดินทาง และการดึงดูดการเดินทาง ซึ่งถูกทำนายจาก แบบจำลองสร้างการเดินทาง ในขั้นตอนก่อนหน้านี้) เพื่อ ทำนาย การเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย (T_{ij}) จาก แต่ละพื้นที่ย่อย i ถึง แต่ละพื้นที่ย่อย j
- แบบจำลองกระจายการเดินทางมีหลายประเภท เช่น Growth Factor (Fratar Method) ซึ่งนิยมใช้ในช่วงยุคต้นๆ ของการวางแผนการขนส่ง แต่ในปัจจุบัน ส่วนใหญ่ใช้เพื่อ ปรับ ตารางการเดินทาง ให้ทันสมัย
- แต่ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ Gravity Model



Introduction



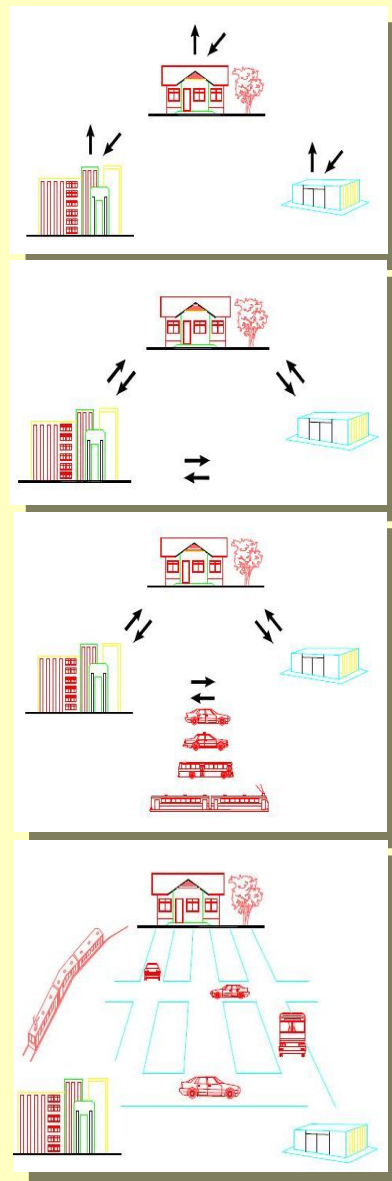
- Task of trip distribution model is to distribute the trip generations for each zone (trip productions and trip attractions) as predicted by the trip generation model in order to predict the flow of trips, T_{ij} , from each production zone i to each attraction zone j
- Many types of trip distribution models exist. These include Gravity model and Fratar method. The Fratar method (or Growth factor) was used in early transportation studies, but which is now used mostly for short-term updating of trip tables and estimation of “through trips” for urban areas.
- But Gravity Model usually is used widely



บทนำ (2)



- การวิเคราะห์การกระจายการเดินทาง (Trip distribution) เป็นขั้นตอนที่สองของระบบจำลองการขนส่งในเมือง (Urban Transportation Modeling System)



Urban Transportation Planning (UTP) Procedure or แบบจำลองต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน (Sequential Four-step Model)

แบบจำลองการเดินทาง (Trip Generation)
การเดินทางเกิดขึ้นที่ใดและสิ้นสุดที่ใด ? จำนวนเท่าใด ?



แบบจำลองการกระจายการเดินทาง (Trip Distribution)
จากไหน? ไปไหน?



แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Modal Split)
ใช้การเดินทางรูปแบบใด?



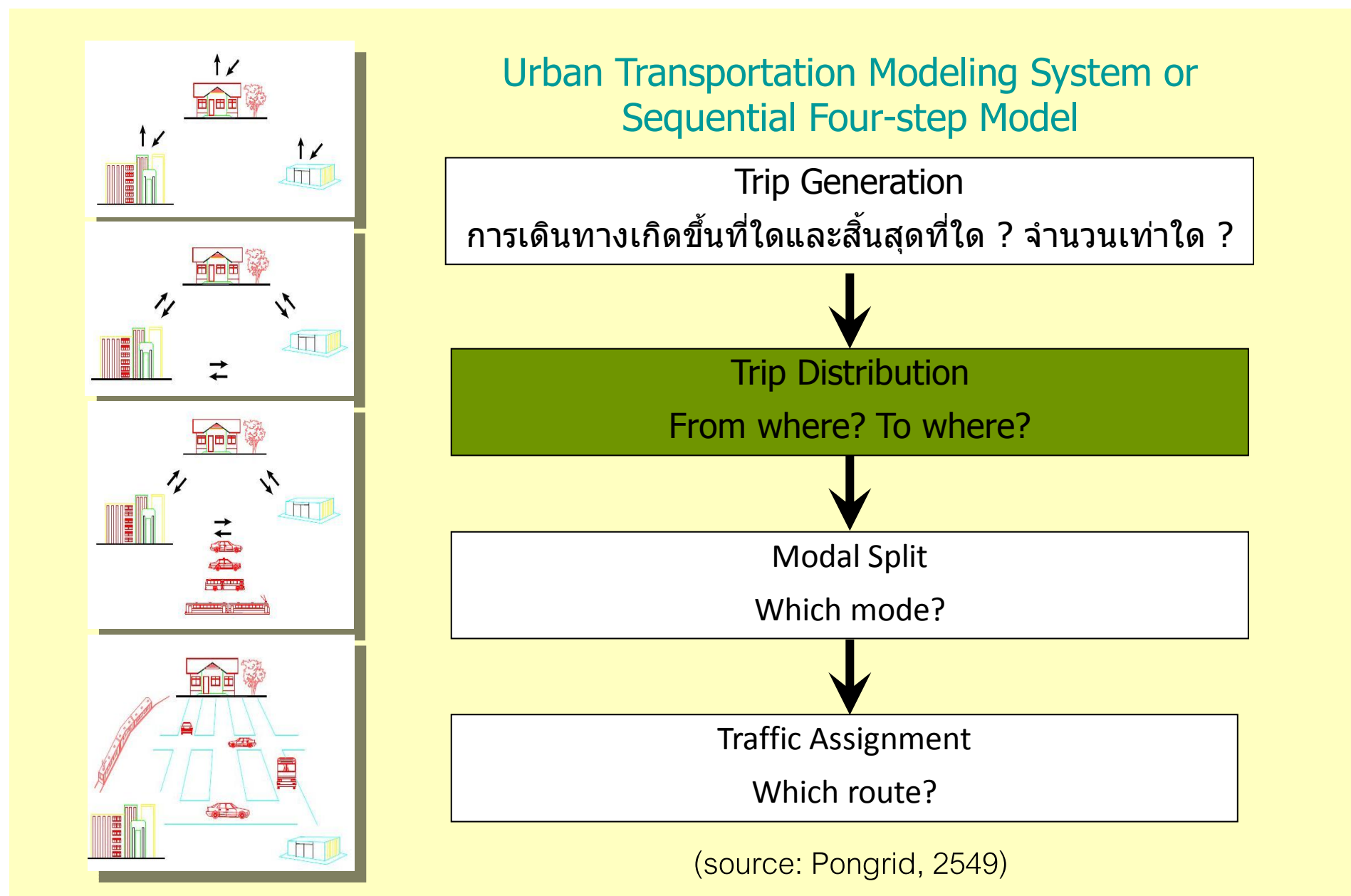
แบบจำลองการจัดการการเดินทาง (Traffic Assignment)
ใช้เส้นทางไหน?

(แหล่งที่มา: พนกฤษณ, 2549)



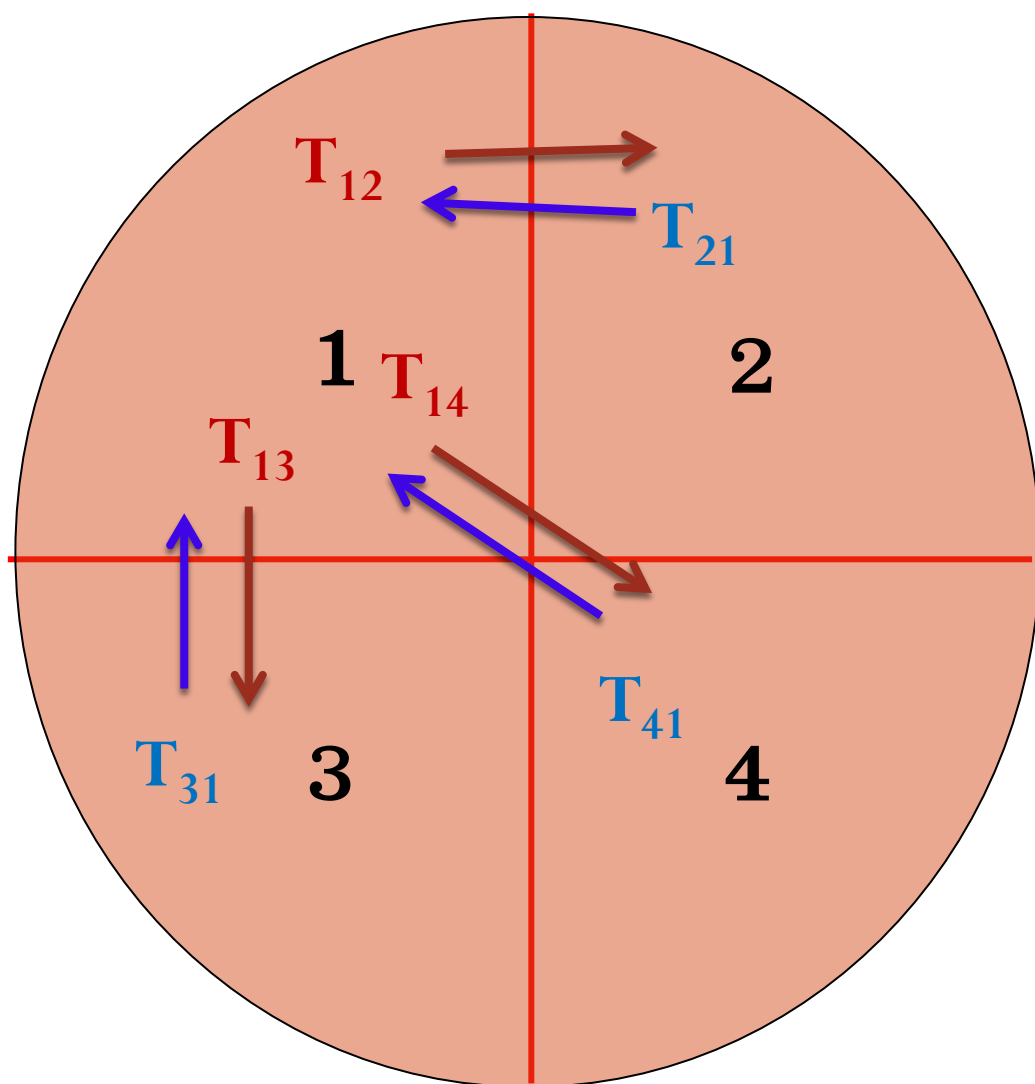
Introduction (2)

- Analysis of trip distribution is the second step of Urban Transportation Modeling System





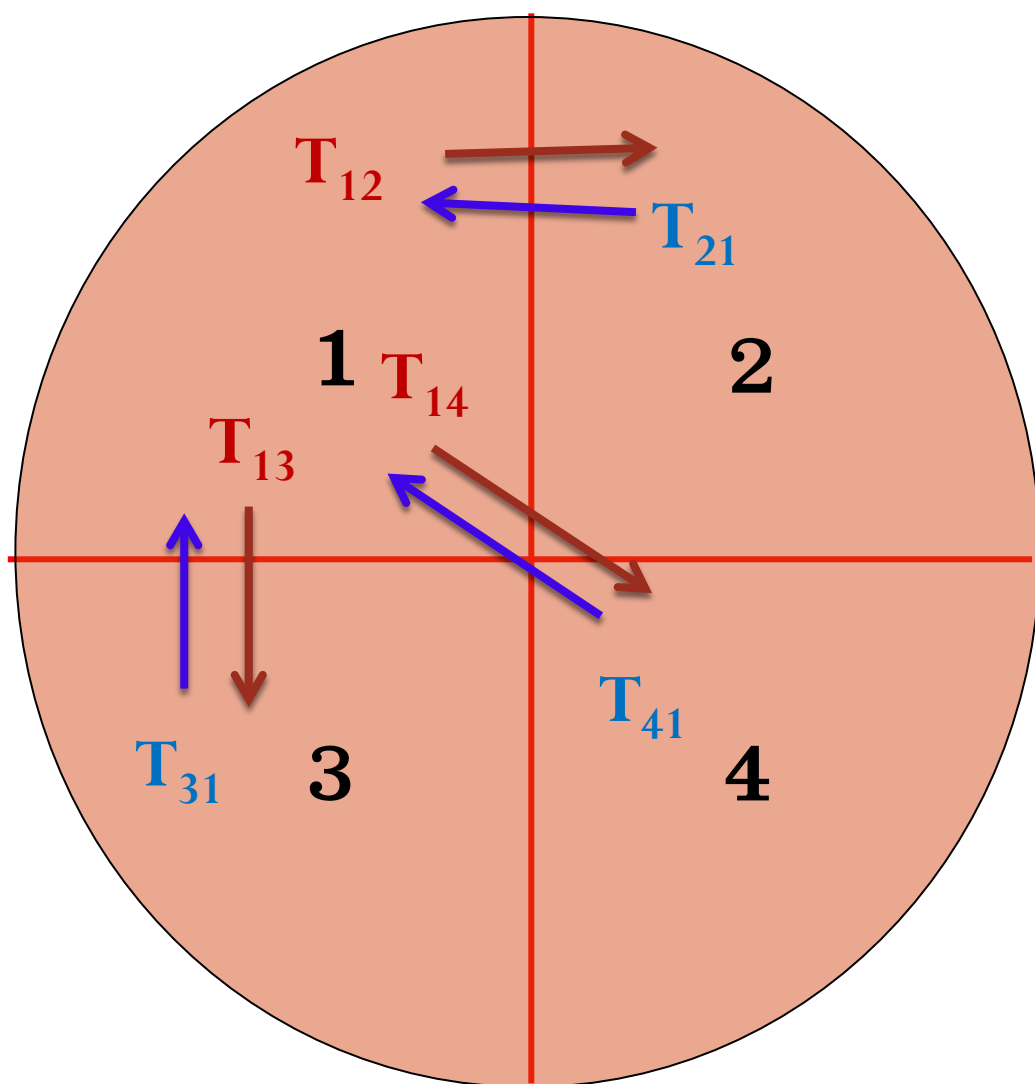
ตารางกระจายการเดินทาง (O-D Matrix)



$P_i \backslash A_j$	1	2	3	4	Total
1		T_{12}	T_{ij}	...	P_1
2	T_{21}		...	...	P_2
3	T_{ij}	...		...	P_3
4	...	...	...		P_4
Total	A_1	A_2	A_3	A_4	

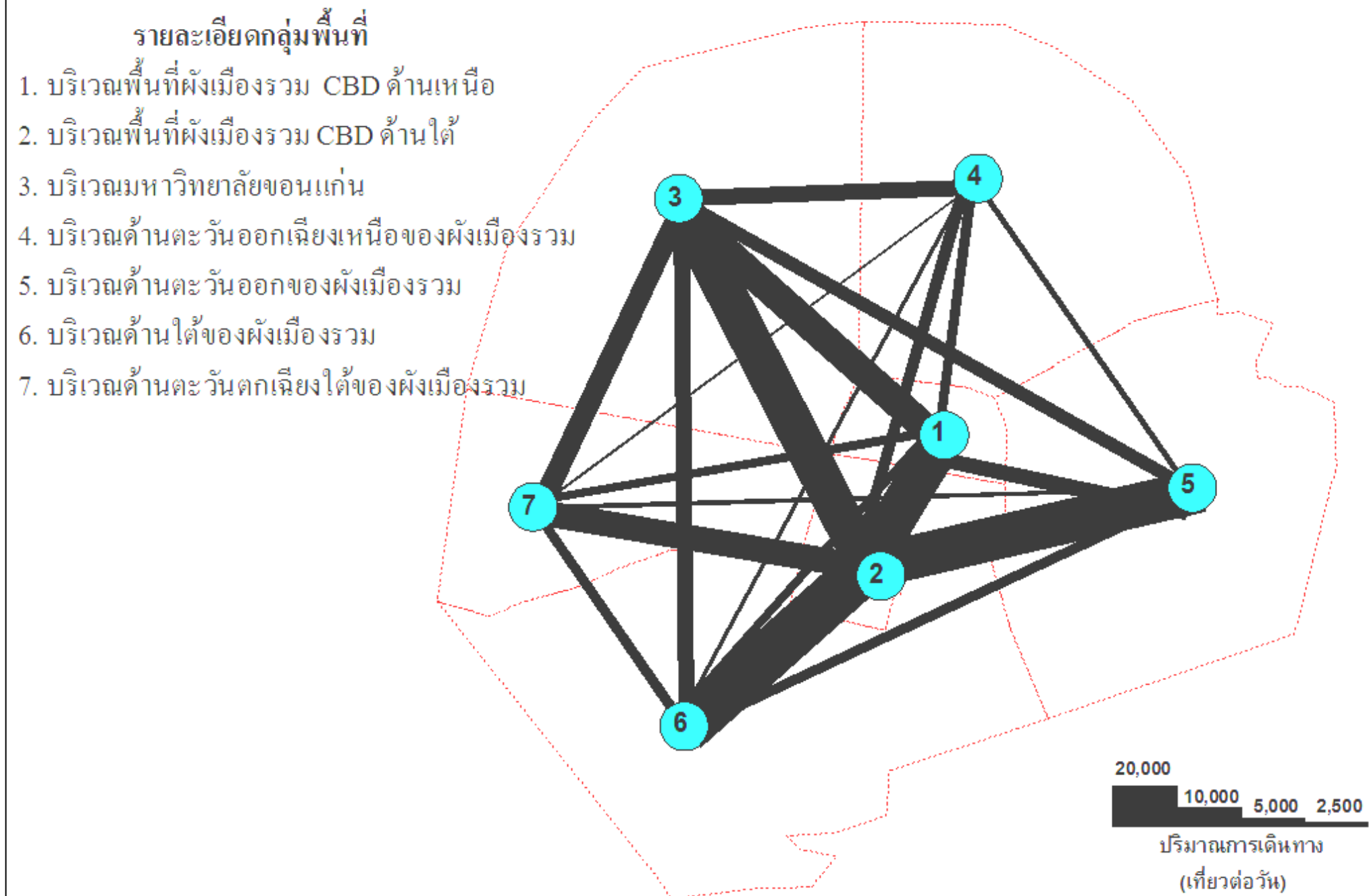


Result of Trip Distribution (O-D Matrix)



$P_i \backslash A_i$	1	2	3	4	Total
1		T_{12}	T_{ij}	...	P_1
2	T_{21}		...	...	P_2
3	T_{ij}	...		...	P_3
4	...	...	...		P_4
Total	A_1	A_2	A_3	A_4	

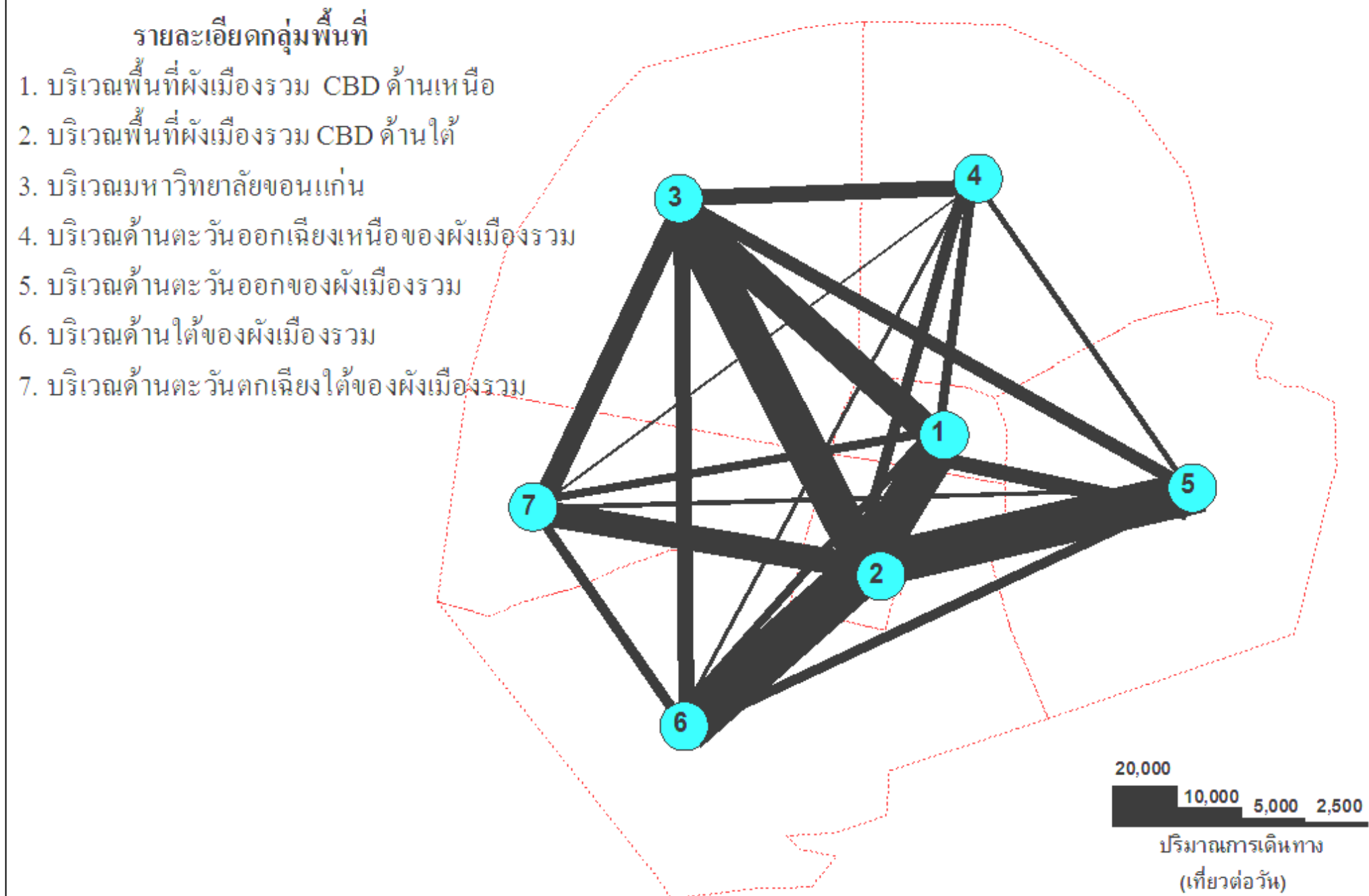
ตัวอย่างผลการกระจายตัวการเดินทาง



โครงการจัดทำแผนแม่บทและศึกษาความเหมาะสมด้านวิศวกรรม เศรษฐกิจ และผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น
เพื่อก่อสร้างระบบขนส่งมวลชนเมืองขอนแก่น (SIRDC, 2008)



Example of result of trip distribution

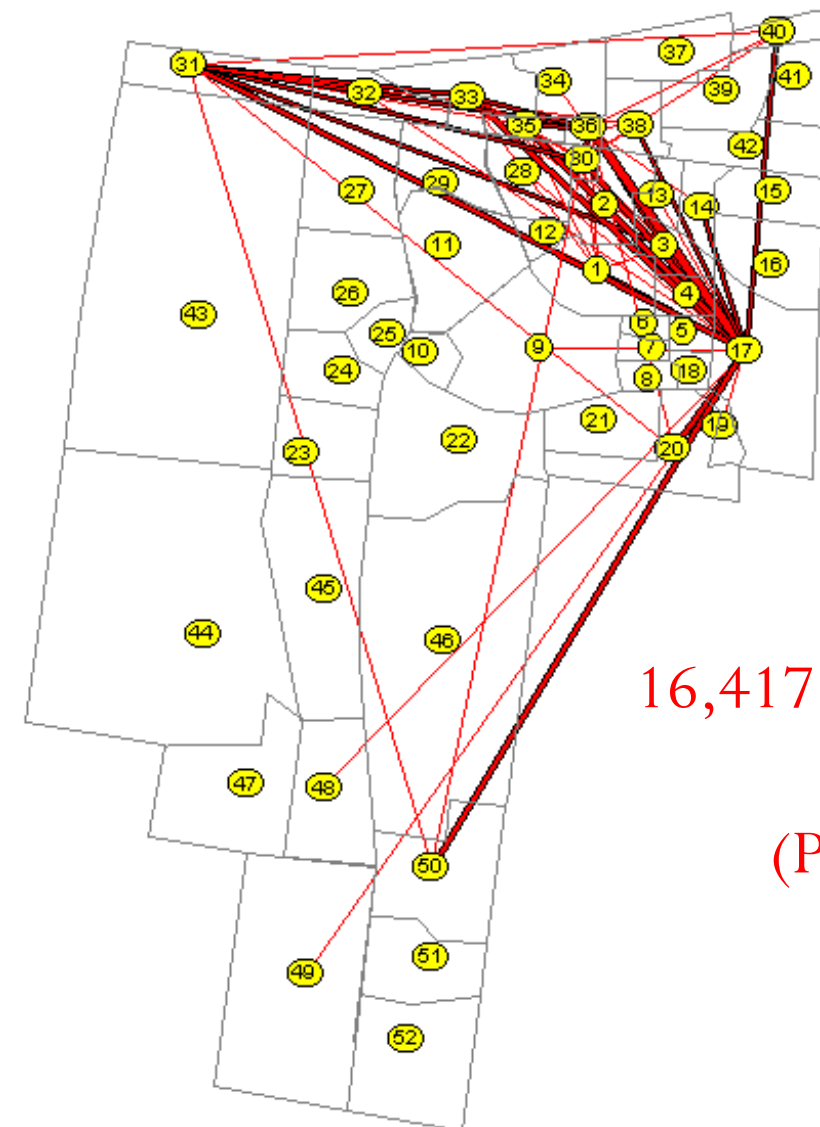
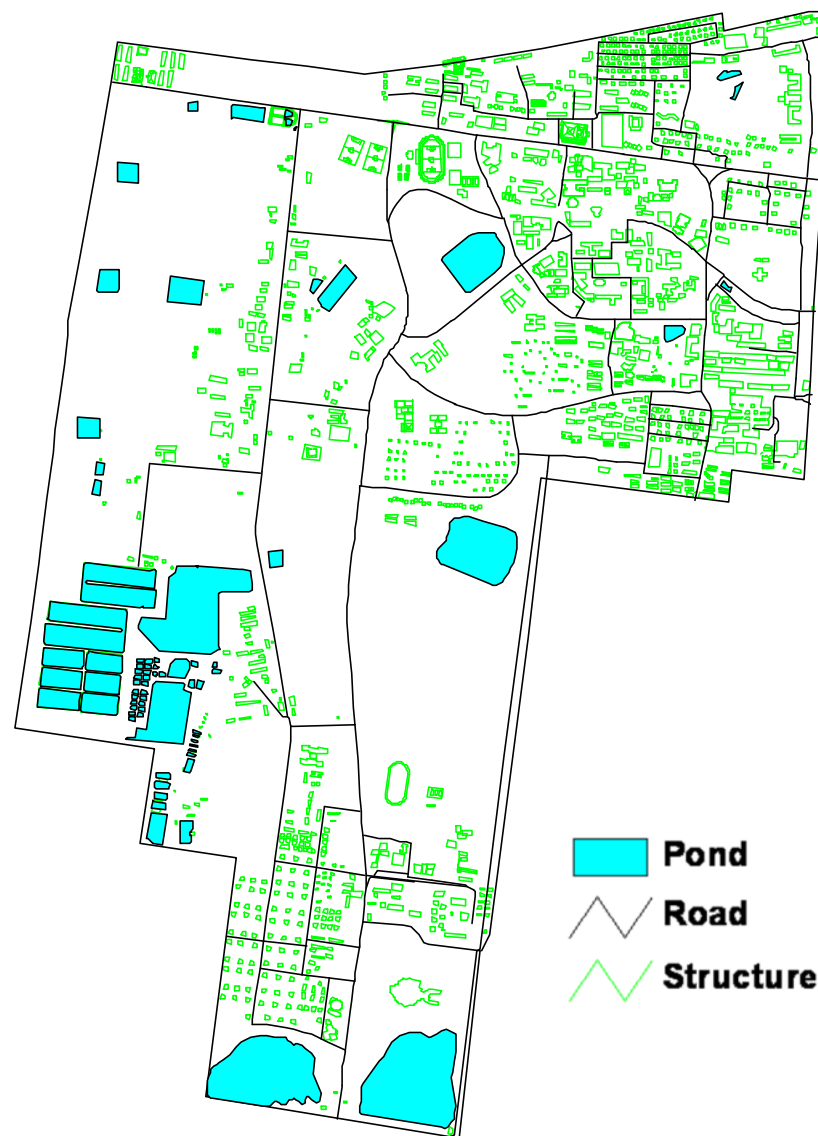


โครงการจัดทำแผนแม่บทและศึกษาความเหมาะสมด้านวิศวกรรม เศรษฐกิจ และผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น
เพื่อก่อสร้างระบบขนส่งมวลชนเมืองขอนแก่น (SIRDC, 2008)



ตัวอย่างผลจากแบบจำลองการกระจายตัวการเดินทางในมหาวิทยาลัยขอนแก่น

Trip Distribution



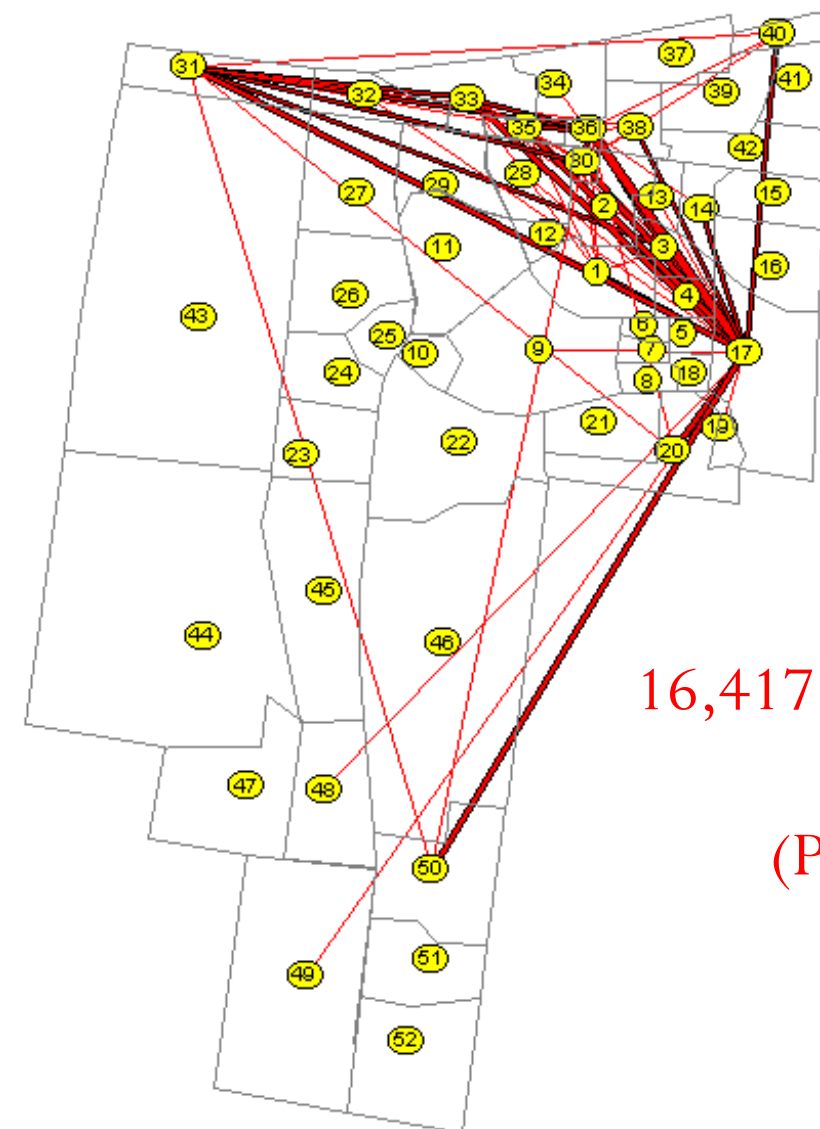
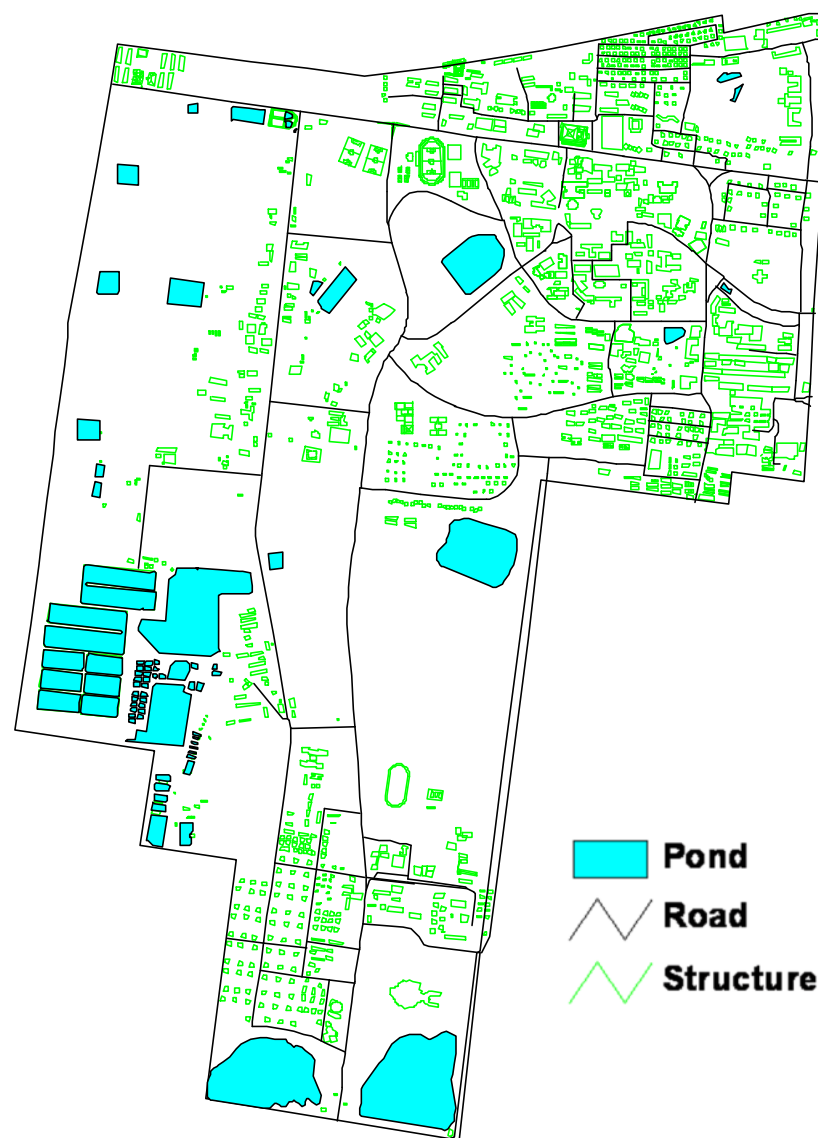
16,417 Trips per hour
(Peak hour)

Trip Distribution inside KKU (2007)



Example of Result of Trip Distribution in Khon Kaen University

Trip Distribution



16,417 Trips per hour
(Peak hour)

Trip Distribution inside KKU (2007)



วิธีการวิเคราะห์การกระจายการเดินทาง

เทคนิคการที่เป็นที่นิยมในการวิเคราะห์การกระจายการเดินทาง คือ

1. แบบจำลองตามหลักแรงโน้มถ่วง (Gravity Model)
2. Fratar Method (Growth factor)



Method of Trip Distribution

Methods usually are applied for analysis of trip distribution

1. Gravity Model
2. Fratar Method (Growth factor)



แบบจำลองตามหลักแรงโน้มถ่วง (Gravity Model)

- แบบจำลองความโน้มถ่วง (Gravity model) ถูกคิดค้นตามทฤษฎีความโน้มถ่วงของนิวตัน (Newton's law of gravity) ซึ่งเสนอว่า แรงดึงดูดระหว่างวัตถุสองสิ่ง แปรผันตรงกับ มวลของวัตถุทั้งสอง แต่ แปรผกผันกับระยะห่างระหว่างวัตถุทั้งสอง
- ในหลักการที่คล้ายๆกันใน Gravity model จำนวนการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยแปรผันตรงกับกิจกรรมบนพื้นที่ย่อยทั้งสอง แต่แปรผกผันกับระยะห่างระหว่างพื้นที่ย่อยซึ่งแสดงในรูปสมการของเวลาเดินทาง
- Gravity model ระบุว่า จำนวนการสร้างการเดินทางของพื้นที่ย่อย i (P_i) จะถูกกระจายไปพื้นที่ย่อย j (T_{ij}) ตามความดึงดูดสัมพัทธ์ของแต่ละพื้นที่ย่อย j ($A_j/\sum A_j$) และ การเข้าถึงพื้นที่สัมพัทธ์ของแต่ละพื้นที่ย่อย j [$F(t)_{ij}/\sum F(t)_{ij}$] ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 6.1

$$\text{Trips between } i \text{ and } j = \text{trips produced at } i \times \frac{\text{attractiveness and accessibility characteristics of } j}{\text{attractiveness and accessibility characteristics of all zones in the area}} \quad (6.1)$$

- ดังนั้น พื้นที่ย่อย j ได้รับจำนวนการกระจายของจำนวนการสร้างการเดินทางของพื้นที่ย่อย i ตามลักษณะของกิจกรรมบนพื้นที่ย่อยเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะของพื้นที่ย่อยอื่นๆทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา



Gravity Model

- Gravity model derives its base from Newton's law of gravity stating attractive force between any two bodies is directly related to their masses and inversely related to distance between them.
- Similarly, in Gravity model, number of trips between two zones directly related to activities in two zones, inversely related to separation between zones as function of travel time
- Gravity model states that trips (P_i) produced in zone i will be distributed to each other zone j (T_{ij}) according to the relative attractiveness of each zone j ($A_j / \sum A_j$) and the relative accessibility of each zone j [$F(t)_{ij} / \sum F(t)_{ij}$]; this means that

$$\text{Trips between } i \text{ and } j = \text{trips produced at } i \times \frac{\text{attractiveness and accessibility characteristics of } j}{\text{attractiveness and accessibility characteristics of all zones in the area}}$$

- Thus, zone j get a portion of zone i 's trip productions according to its characteristics as compared to the characteristics of all other zones in the study area.



แบบจำลองตามหลักแรงโน้มถ่วง (Gravity Model)

- สมการของแบบจำลองตามหลักแรงโน้มถ่วง (Gravity Model)

$$T_{ij} = \frac{P_i A_j F(t)_{ij} K_{ij}}{\sum_{j=1}^n A_j F(t)_{ij}} \quad (6.2)$$

Where

T_{ij}	=	Number of trips produced in zone i and attracted to zone j
P_i	=	Trips produced from zone i
A_j	=	Trips attracted to zone j
$F(t)_{ij}$	=	Friction factor for interchange ij (based on travel time between i and j)
i	=	Origin zone
j	=	Destination zone
n	=	Number of zone in the study area
K_{ij}	=	Socio-economic characteristics of zones



Gravity Model

- Formula of Gravity Model is following equation

$$T_{ij} = \frac{P_i A_j F(t)_{ij} K_{ij}}{\sum_{j=1}^n A_j F(t)_{ij}} \quad (6.1)$$

Where

T_{ij}	=	Number of trips produced in zone i and attracted to zone j
P_i	=	Trips produced from zone i
A_j	=	Trips attracted to zone j
$F(t)_{ij}$	=	Friction factor for interchange ij (based on travel time between i and j)
i	=	Origin zone
j	=	Destination zone
n	=	Number of zone in the study area
K_{ij}	=	Socio-economic characteristics of zones



แบบจำลองตามหลักแรงโน้มถ่วง (Gravity Model)

ตัวอย่าง 6.1: นักวางแผนการขนส่งต้องการกระจายจำนวนการสร้างการเดินทางเพื่อวัตถุประสงค์ไปทำงานของพื้นที่ย่อย 3 จำนวน 602 ไปโซน 1, 2, 4, และ 5. โดยจำนวนการสร้างการเดินทางเพื่อวัตถุประสงค์ไปทำงาน และการดึงดูดการเดินทางถูกทำนายจากขั้นตอนการวิเคราะห์การเกิดการเดินทาง และค่า Friction factor, $F(t)_{ij}$ ได้มาจากการศึกษาก่อนหน้านี้

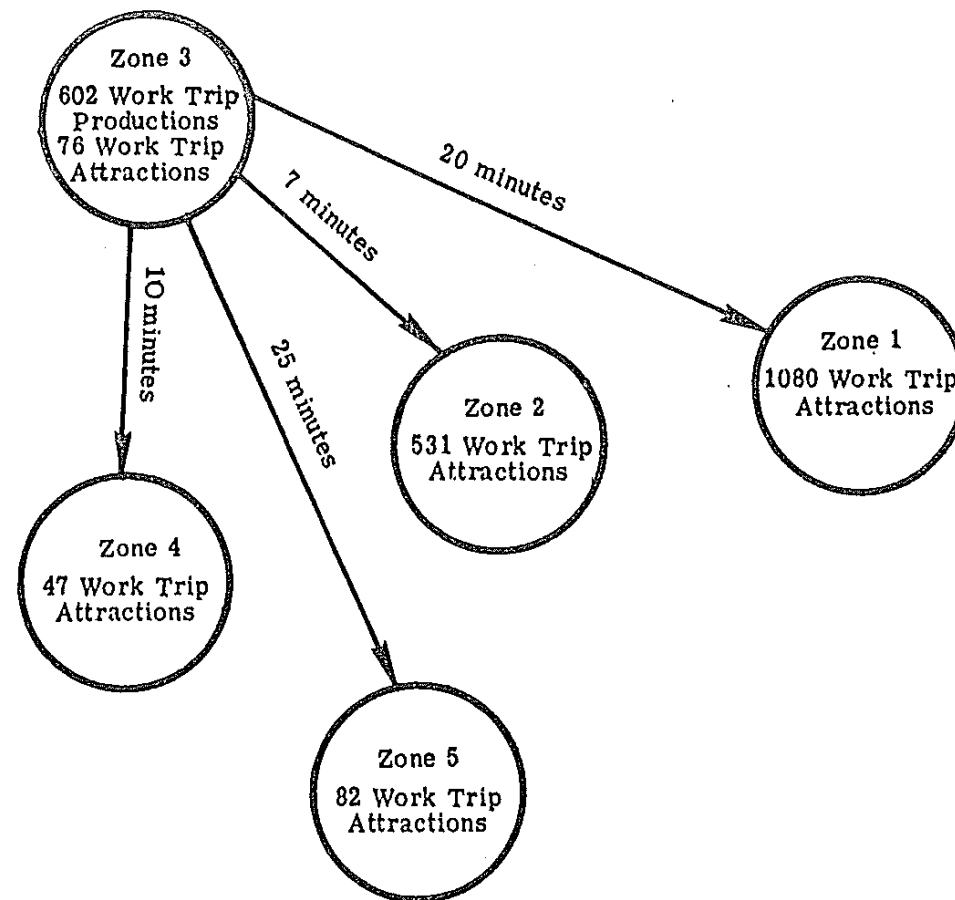


Figure 11-E7 Trip Distribution for Small City USA, for Example 7 (FHWA/UMTA, 1977).



Gravity Model

Example 6.1: the transportation planner need to distribute 602 work-trip productions from zone 3 to zone 1, 2, 4, and 5. The numbers of work-trip productions and attractions were determined in the trip-generation phase. Value of $F(t)_{ij}$ were obtained from past records.

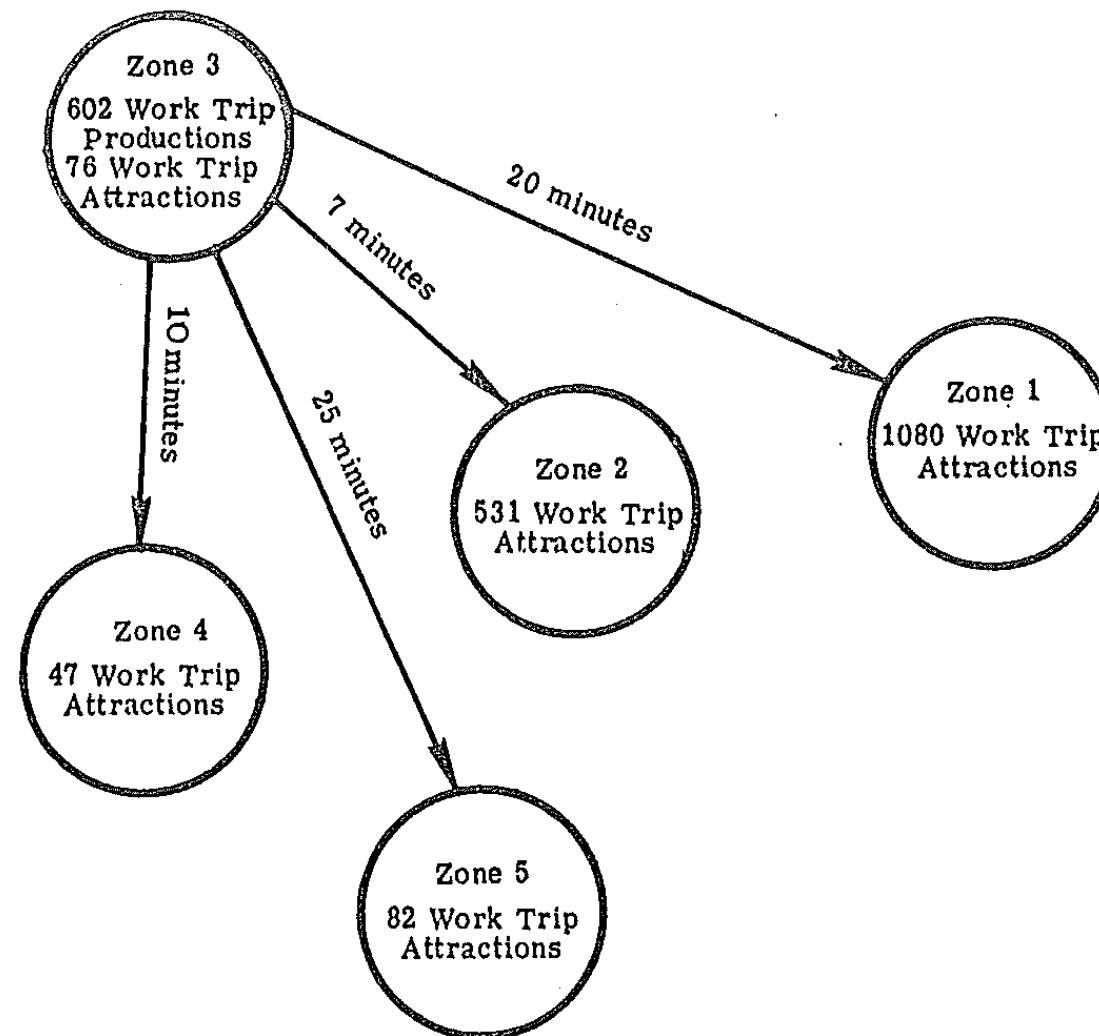


Figure 11-E7 Trip Distribution for Small City USA, for Example 7 (FHWA/UMTA, 1977).



แบบจำลองตามหลักแรงโน้มถ่วง (Gravity Model)

วิธีทำ

สมมติให้ socioeconomic (K_{ij}) = 1. T_{ij} ถูกการคำนวณได้ดังตัวอย่างด้านล่าง

$$T_{31} = \frac{P_3 A_1 F(t)_{31} K_{31}}{\sum_{j=1}^5 A_1 F(t)_{31}} = \frac{(602)(6,480)(1)}{(26,473)} = 147$$

From zone:	To zone:	Attractions A_j	Impedance (min)	$F(t)_{ij}$	$A_j F(t)_{ij}$	T_{ij}
3	1	1080	20	6	6,480	147
3	2	531	7	29	15,399	350
3	3	76	5	45	3,420	78
3	4	47	10	18	846	19
3	5	82	25	4	328	8
Total					26,473	602



Gravity Model

Solution

Assuming that socioeconomic (K_{ij}) = 1. Example of T_{ij} is calculated as follows:

$$T_{31} = \frac{P_3 A_1 F(t)_{31} K_{31}}{\sum_{j=1}^5 A_1 F(t)_{31}} = \frac{(602)(6,480)(1)}{(26,473)}$$

From zone:	To zone:	Attractions A_j	Impedance (min)	$F(t)_{ij}$	$A_j F(t)_{ij}$	T_{ij}
3	1	1080	20	6	6,480	147
3	2	531	7	29	15,399	350
3	3	76	5	45	3,420	78
3	4	47	10	18	846	19
3	5	82	25	4	328	8
Total					26,473	602



แบบจำลองตามหลักแรงโน้มถ่วง (Gravity Model)

ตัวอย่าง 6.2: เมืองซึ่งประกอบด้วย 4 พื้นที่ย่อย มี 2 พื้นที่ย่อยเป็นประเภทที่อยู่อาศัย คือ A และ B ซึ่งสร้างการเดินทางจำนวน 725 และ 575 เที่ยว ตามลำดับ ซึ่งการเดินทางไปสู่ 2 พื้นที่ย่อยประเภทจ้างงาน C และ D ซึ่งดึงดูดการเดินทางจำนวน 875 และ 425 เที่ยว ตามลำดับ เวลาเดินทาง ระหว่างพื้นที่ย่อย AC, BC, BD และ AD เท่ากับ 8, 10, 13 และ 15 นาที ตามลำดับ และ Friction factors (F_{ij}) ที่เป็นสมการของเวลาเดินทางเท่ากับ 90, 60, 50 และ 10 ตามลำดับ กำหนดให้ socioeconomic factor $K_{ij} = 1$ จงคำนวณหาการกระจายการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย (T_{ij})

วิธีทำ

จำนวนการสร้างการเดินทางรวม ควรเท่ากับ จำนวนการดึงดูดการเดินทาง $\sum_i^n P_i = \sum_j^n A_j$

$$\text{จากโซน} \quad A + B = 725 + 575 = 1300 \text{ trips produced}$$

$$\text{ถึงโซน} \quad C + D = 875 + 425 = 1300 \text{ trips attracted}$$



Gravity Model

Example 6.2: A four-zone city has two residential zones, A and B, generating 725 and 575 trips, respectively. These trips go to two employment zones C and D, attracting 875 and 425 trips, respectively. The travel time, in minutes, between zones is $AC = 8$, $BC = 10$, $BD = 13$, and $AD = 15$. Friction factors (F_{ij}) corresponding to these travel times are 90, 60, 50 and 10, respectively, taken from the gravity model. The socioeconomic factor $K_{ij} = 1$. What is the distribution of trips?

Solution

Productions should be equal to attractions $\sum_i^n P_i = \sum_j^n A_j$

From $A + B = 725 + 575 = 1300$ trips produced

To $C + D = 875 + 425 = 1300$ trips attracted



แบบจำลองตามหลักแรงโน้มถ่วง (Gravity Model)

วิธีทำ

ต่อมา

$$T_{ij} = \frac{P_i A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum A_j F_{ij} K_{ij}}$$

$$\left. \begin{aligned} T_{AC} &= \frac{725 \times 875 \times 90 \times 1}{(875 \times 90 \times 1) + (425 \times 10 \times 1)} = 688 \\ T_{AD} &= \frac{725 \times 425 \times 10 \times 1}{(875 \times 90 \times 1) + (425 \times 10 \times 1)} = 37 \end{aligned} \right\} = 725$$

$$\left. \begin{aligned} T_{BC} &= \frac{575 \times 875 \times 60 \times 1}{(875 \times 60 \times 1) + (425 \times 50 \times 1)} = 409 \\ T_{BD} &= \frac{575 \times 425 \times 50 \times 1}{(875 \times 60 \times 1) + (425 \times 50 \times 1)} = 166 \end{aligned} \right\} = 575$$

เส้นทาง	เวลาเดินทาง (นาที)	F_{ij}	K_{ij}	การ เดินทาง
AC	8	90	1	688
AD	15	10	1	37
BC	10	60	1	409
BD	13	50	1	166



Gravity Model

Solution

Further,

$$T_{ij} = \frac{P_i A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum A_j F_{ij} K_{ij}}$$

$$\left. \begin{aligned} T_{AC} &= \frac{725 \times 875 \times 90 \times 1}{(875 \times 90 \times 1) + (425 \times 10 \times 1)} = 688 \\ T_{AD} &= \frac{725 \times 425 \times 10 \times 1}{(875 \times 90 \times 1) + (425 \times 10 \times 1)} = 37 \end{aligned} \right\} = 725$$

$$\left. \begin{aligned} T_{BC} &= \frac{575 \times 875 \times 60 \times 1}{(875 \times 60 \times 1) + (425 \times 50 \times 1)} = 409 \\ T_{BD} &= \frac{575 \times 425 \times 50 \times 1}{(875 \times 60 \times 1) + (425 \times 50 \times 1)} = 166 \end{aligned} \right\} = 575$$

Route	Travel time (min)	F_{ij}	K_{ij}	Trips
AC	8	90	1	688
AD	15	10	1	37
BC	10	60	1	409
BD	13	50	1	166



แบบจำลองตามหลักแรงโน้มถ่วง (Gravity Model)

Example 6.3: เมืองหนึ่งแบ่งเป็น 3 พื้นที่ย่อย มีจำนวนการสร้างการเดินทางและจำนวนการดึงดูดการเดินทางของพื้นที่ย่อยดังตาราง จงคำนวณการกระจายการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย สมมติว่า $k_{ij} = 1$

Zone		1	2	3	Total
Trips produced	(P_i)	700	200	0	900
Trips attracted	(A_j)	0	400	500	900

ความต้านทาน (เวลาเดินทาง) และ friction factor (F_{ij}) แสดงดังตาราง

เวลาเดินทาง (นาที)			
Dest. Orig.	1	2	3
1	2	4	6
2	4	2	8
3	6	8	2

Friction factor (F_{ij})			
Dest. Orig.	1	2	3
1	10	7	6
2	7	10	5
3	6	5	10



Gravity Model

Example 6.3: A three-zone city has the following trips produced in and attracted to the three zones as follows. Distribute the trips between the zones, assuming $k_{ij} = 1$

Zone	1	2	3	Total
Trips produced (P_i)	700	200	0	900
Trips attracted (A_j)	0	400	500	900

The impedance (travel time, min) and friction factor (F_{ij}) are presented as follow tables

Travel times (min)			
Dest. Orig.	1	2	3
1	2	4	6
2	4	2	8
3	6	8	2

Friction factor (F_{ij})			
Dest. Orig.	1	2	3
1	10	7	6
2	7	10	5
3	6	5	10



แบบจำลองตามหลักแรงโน้มถ่วง (Gravity Model)

Solution:

การคำนวณครั้งที่ 1 ($m=1$);

$$T_{ij} = P_i (A_i F_{ij}) / (\sum A_j F_{ij})$$

$$T_{1-1} = (700)(0)(10) / [(0)(10) + (400)(7) + (500)(6)] = 0$$

$$T_{1-2} = [(700)(400)(7)] / 5800 = 338$$

$$T_{1-3} = [(700)(500)(6)] / 5800 = 362$$

$$T_{2-1} = [(200)(0)(7)] / [(0)(7) + (400)(10) + (500)(5)] = 0$$

$$T_{2-2} = [(200)(400)(10)] / 6500 = 123$$

$$T_{2-3} = [(200)(500)(5)] / 6500 = 77$$

$$T_{3-1}, T_{3-2}, T_{3-3} = 0$$



Gravity Model

Solution:

First iteration $(m = 1);$

$$T_{ij} = P_i (A_i F_{ij}) / (\sum A_j F_{ij})$$

$$T_{1-1} = (700)(0)(10) / [(0)(10) + (400)(7) + (500)(6)] = 0$$

$$T_{1-2} = [(700)(400)(7)] / 5800 = 338$$

$$T_{1-3} = [(700)(500)(6)] / 5800 = 362$$

$$T_{2-1} = [(200)(0)(7)] / [(0)(7) + (400)(10) + (500)(5)] = 0$$

$$T_{2-2} = [(200)(400)(10)] / 6500 = 123$$

$$T_{2-3} = [(200)(500)(5)] / 6500 = 77$$

T_{3-1}, T_{3-2} and T_{3-3} are all equal to zero.



แบบจำลองตามหลักแรงโน้มถ่วง (Gravity Model)

วิธีทำ:

Dest. \ Orig.	1	2	3	Total
1	0	338	362	700
2	0	123	77	200
3	0	0	0	0
Total	0	461	439	900
Computed A_j	0	461	439	900
Given A_j	0	400	500	900

อธิบาย: จำนวนการดึงดูดการเดินทางทั้งหมดที่คำนวณได้ (Computed A_j) ไม่เท่ากับจำนวนการดึงดูดการเดินทางทั้งหมดที่ต้องการ (Given A_j) ดังนั้น ต้องปรับแก้ค่าจำนวนการดึงดูดการเดินทางทั้งหมดที่คำนวณได้ เพื่อดำเนินการคำนวณซ้ำ



Gravity Model

Solution:

Dest. Orig.	1	2	3	Total
1	0	338	362	700
2	0	123	77	200
3	0	0	0	0
Total	0	461	439	900
Computed A_j	0	461	439	900
Given A_j	0	400	500	900



แบบจำลองตามหลักแรงโน้มถ่วง (Gravity Model)

การปรับแก้ค่าจำนวนการดึงดูดการเดินทาง:

$$A_{jk} = [A_j \cdot A_{j(k-1)}] / C_{j(k-1)} \quad (6.3)$$

A_{jk} = จำนวนการดึงดูดการเดินทางทั้งหมดที่ปรับแก้ของพื้นที่ย่อย j , คำนวณซ้ำครั้งที่ k

A_{jk} = A_j เมื่อ $k = 1$

C_{jk} = จำนวนการดึงดูดการเดินทางทั้งหมดที่คำนวณได้ของพื้นที่ย่อย j , คำนวณซ้ำครั้งที่ k

A_j = จำนวนการดึงดูดการเดินทางทั้งหมดที่ถูกต้องของพื้นที่ย่อย j

j = หมายเลขพื้นที่ย่อยดึงดูดการเดินทาง $j = 1, 2, 3, \dots, n$

n = จำนวนพื้นที่ย่อย

k = การคำนวณซ้ำครั้งที่, $k = 1, 2, 3, \dots, m$

m = จำนวนการคำนวณซ้ำ



Gravity Model

Solution:

$$A_{jk} = \left[A_j \cdot A_{j(k-1)} \right] / C_{j(k-1)}$$

A_{jk} = Adjusted attraction factor for attraction zone (column) j , iteration k

$A_{jk} = A_j$, when $k = 1$

C_{jk} = Actual attraction (column) total for zone j , iteration k

A_j = Desired attraction total for attraction zone (column) j

j = Attraction zone number, $j = 1, 2, 3, \dots, n$

n = Number of zones

k = Iteration number, $k = 1, 2, 3, \dots, m$

m = Number of iterations



แบบจำลองตามหลักแรงโน้มถ่วง (Gravity Model)

วิธีทำ:

คำนวณปรับแก้จำนวนการเดินทางจากสมการด้านล่าง:

$$A_{jk} = \left[A_j \cdot A_{j(k-1)} \right] / C_{j(k-1)}$$

Zone 1: ไม่ต้องปรับแก้; $A_1 = 0$

Zone 2: $A_2 = 400 \times 400 / 461 = 347$

Zone 3: $A_3 = 500 \times 500 / 439 = 569$

การคำนวณซ้ำครั้งที่ 2 ($m = 2$);

$$T_{1-1} = \left[(700)(0)(10) \right] / \left[(0)(10) + (347)(7) + (569)(6) \right] = 0$$

$$T_{1-2} = \left[(700)(347)(7) \right] / 5843 = 291$$

$$T_{1-3} = \left[(700)(569)(6) \right] / 5843 = 409$$

$$T_{2-1} = \left[(200)(0)(7) \right] / \left[(0)(7) + (347)(10) + (569)(5) \right] = 0$$

$$T_{2-2} = \left[(200)(347)(10) \right] / 6315 = 110$$

$$T_{2-3} = \left[(200)(569)(5) \right] / 6315 = 90$$



Gravity Model

Solution:

Calculate the adjusted attraction factors according to the following formula:

$$A_{jk} = \left[A_j \cdot A_{j(k-1)} \right] / C_{j(k-1)}$$

Zone 1: no adjustment needs; $A_1 = 0$

Zone 2: $A_2 = 400 \times 400 / 461 = 347$

Zone 3: $A_3 = 500 \times 500 / 439 = 569$

Second iteration ($m = 2$);

$$T_{1-1} = \left[(700)(0)(10) \right] / \left[(0)(10) + (347)(7) + (569)(6) \right] = 0$$

$$T_{1-2} = \left[(700)(347)(7) \right] / 5843 = 291$$

$$T_{1-3} = \left[(700)(569)(6) \right] / 5843 = 409$$

$$T_{2-1} = \left[(200)(0)(7) \right] / \left[(0)(7) + (347)(10) + (569)(5) \right] = 0$$

$$T_{2-2} = \left[(200)(347)(10) \right] / 6315 = 110$$

$$T_{2-3} = \left[(200)(569)(5) \right] / 6315 = 90$$



แบบจำลองตามหลักแรงโน้มถ่วง (Gravity Model)

Solution:

ผลการคำนวณการกระจายการเดินทางครั้งที่ 2

Dest. Orig.	1	2	3	Total
1	0	291	409	700
2	0	110	90	200
3	0	0	0	0
Total	0	401	499	900
Computed	0	401	499	900
Given	0	400	500	900

อภิปรายผล:

จำนวนการดึงดูดการเดินทางของแต่ละพื้นที่ย่อยที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าที่โจทย์กำหนดให้ จึงหยุดการคำนวณ ดังนั้นจำนวนการกระจายการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยในตารางจึงเป็นคำตอบสุดท้าย



Gravity Model

Solution:

Zone-to-zone trips: second iteration

Dest. Orig.	1	2	3	Total
1	0	291	409	700
2	0	110	90	200
3	0	0	0	0
Total	0	401	499	900
Computed	0	401	499	900
Given	0	400	500	900

Discussion:

The convergence of the computed attractions is very close to given attractions. This process is usually continued until there is reasonable agreement between estimated values using the gravity model and the values furnished



Fratar Method

สมมุติฐาน

1. การกระจายการเดินทางในอนาคตของพื้นที่ศึกษาเป็นอัตราส่วนของการกระจายการเดินทางในปัจจุบัน
2. การกระจายการเดินทางในอนาคตถูกทำนายโดยอัตราการเจริญเติบโตของพื้นที่ย่อย (Growth factor) ต้นทางและปลายทางของการเดินทางนั้น



Fratar Method

Assumption

1. Distribution of future trips from a given origin zone is proportional to the present trip distribution
2. This future distribution is modified by the growth factor of the zone to which these trips are attached



Fratar Method (2)

สมการทั่วไปของ Fratar Method

$$t_{ij}^f = t_{ij}^0 \frac{O_i^f}{O_i^0} \frac{D_j^f}{D_j^0} \frac{\sum_{k=1}^n t_{ik}^0}{\sum_{k=1}^n \left(D_k^f / D_k^0 \right) (t_{ik}^0)} \quad (6.4)$$

เมื่อ

O_i^f and O_i^0 = จำนวนการเดินทางของพื้นที่ย่อยต้นทาง i ในปีอนาคตและปีฐาน

D_j^f and D_j^0 = จำนวนการเดินทางของพื้นที่ย่อยปลายทาง j ในปีอนาคตและปีฐาน

t_{ij}^f and t_{ij}^0 = การเดินทางจากพื้นที่ย่อย i ไป j ในปีอนาคตและปีฐาน



Fratar Method (2)

Typical formula of Fratar Method

$$t_{ij}^f = t_{ij}^0 \frac{O_i^f}{O_i^0} \frac{D_j^f}{D_j^0} \frac{\sum_{k=1}^n t_{ik}^0}{\sum_{k=1}^n \left(D_k^f / D_k^0 \right) \left(t_{ik}^0 \right)}$$

Where

O_i^f and O_i^0 = Future and base-year origin trips from zone I

D_j^f and D_j^0 = Future and base-year destination trips from zone j

t_{ij}^f and t_{ij}^0 = Future and base-year trips from i to j



Fratar Method (3)

หรือ

$$t_{ij}^f = t_{ij}^0 \times GF_i^O \times GF_j^D \times \frac{\sum_{k=1}^n t_{ik}^0}{\sum_{k=1}^n (GF_k^D)(t_{ik}^0)} \quad (6.5)$$

เมื่อ

t_{ij}^f and t_{ij}^0 = การเดินทางจากพื้นที่ย่อย i ไป j ในปีอนาคตและปีฐาน

$GF_i^O = \frac{O_i^f}{O_i^0}$ = อัตราเติบโตของพื้นที่ย่อยต้นทาง i

$GF_j^D = \frac{D_j^f}{D_j^0}$ = อัตราเติบโตของพื้นที่ย่อยปลายทาง j

O_i^f and O_i^0 = จำนวนการเดินทางของพื้นที่ย่อยต้นทาง i ในปีอนาคตและปีฐาน

D_j^f and D_j^0 = จำนวนการเดินทางของพื้นที่ย่อยปลายทาง j ในปีอนาคตและปีฐาน



Fratar Method (3)

or

$$t_{ij}^f = t_{ij}^0 \times GF_i^O \times GF_j^D \times \frac{\sum_{k=1}^n t_{ik}^0}{\sum_{k=1}^n (GF_k^D)(t_{ik}^0)}$$

$$GF_i^O = \frac{O_i^f}{O_i^0}, GF_i^D = \frac{D_i^f}{D_i^0}$$

Where

t_{ij}^f and t_{ij}^0 = Future and base-year trips from i to j

GF_i^O = Growth factor of origin zone i

GF_i^D = Growth factor of destination zone j

O_i^f and O_i^0 = Future and base-year origin trips from zone i

D_j^f and D_j^0 = Future and base-year destination trips from zone j



Fratar Method (4)

ตัวอย่าง 6.4: พื้นที่ย่อย i สร้างจำนวนการเดินทางในปีฐานจำนวน 20 เที่ยว กระจายไปยังพื้นที่ย่อย j , k และ l จำนวน 4, 6 และ 10 ตามลำดับ โดยแต่ละพื้นที่ย่อยมีอัตราเติบโต (Growth rates) ในอนาคต 25 ปีเท่ากับ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ จงคำนวณการกระจายการเดินทางจากพื้นที่ย่อย i ไป j , k และ l ในปีอนาคต

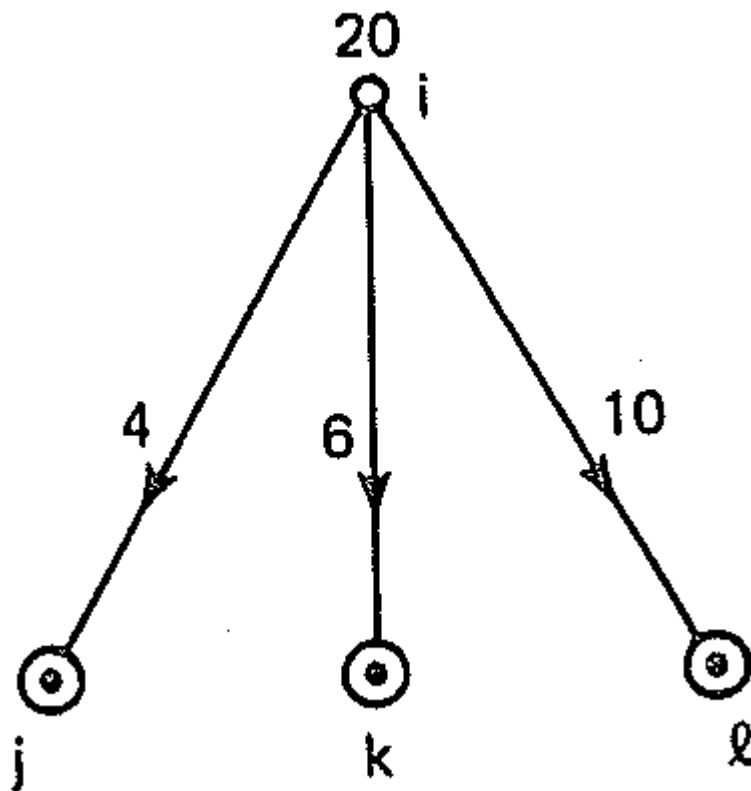


Figure 11-E5 Trip Diagram for Example 5.



Fratar Method (4)

Example 6.4: An origin zone i with 20 base-year trips going to j , k and l numbering 4, 6 and 10, respectively, has growth rates of 2, 3, 4 and 5 for i , j , k and l , respectively in 25 years. Determine the future trips from i to j , k and l in the future year

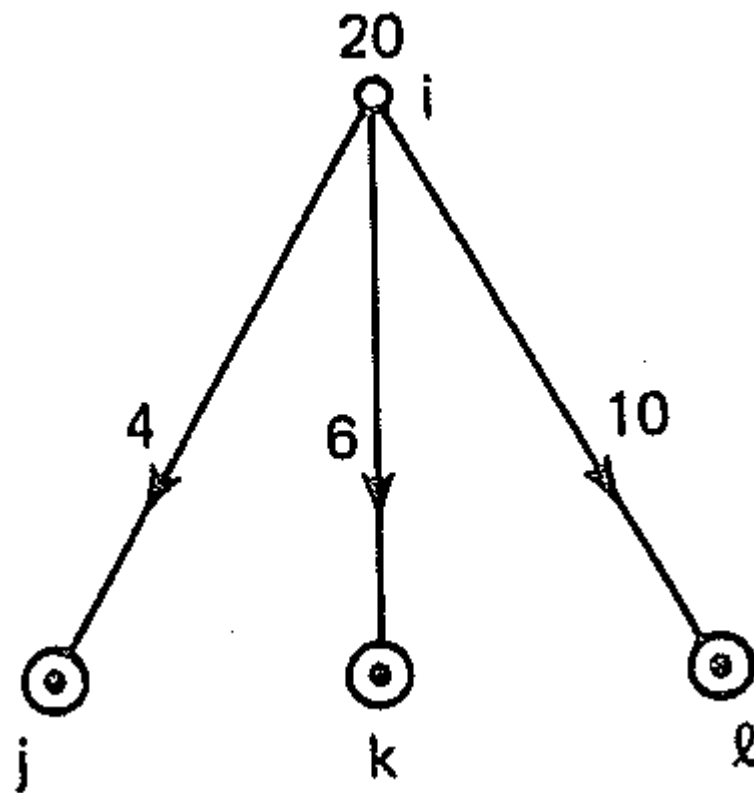


Figure 11-E5 Trip Diagram for Example 5.



Fratar Method (5)

วิธีทำ

$$t_{ij}^0 = 4; t_{ik}^0 = 6; t_{il}^0 = 10$$

Growth factor: $i = 2; j = 3; k = 4; l = 5$

$$O_i^f = O_i^0 \times GF_i^O = 20 \times 2 = 40$$

$$D_j^f = D_j^0 \times GF_j^D = 4 \times 3 = 12$$

$$D_k^f = D_k^0 \times GF_k^D = 6 \times 4 = 24$$

$$D_l^f = D_l^0 \times GF_l^D = 10 \times 5 = 50$$

$$\sum D^f = 12 + 24 + 50 = 86$$

ข้อสังเกต: การสร้างการเดินทางในอนาคต ($20 \times 2 = 40$) และการดึงดูดการเดินทางในอนาคต

$[(4 \times 3) + (6 \times 4) + (10 \times 5) = 86]$ ไม่เท่ากัน



Fratar Method (5)

Solution

$$t_{ij}^0 = 4; t_{ik}^0 = 6; t_{il}^0 = 10$$

Growth: $i = 2; j = 3; k = 4; l = 5$

$$O_i^f = O_i^0 \times GF_i^O = 20 \times 2 = 40$$

$$D_j^f = D_j^0 \times GF_j^D = 4 \times 3 = 12$$

$$D_k^f = D_k^0 \times GF_k^D = 6 \times 4 = 24$$

$$D_l^f = D_l^0 \times GF_l^D = 10 \times 5 = 50$$

$$\sum D^f = 12 + 24 + 50 = 86$$

Notice that, future origin ($20 \times 2 = 40$) and future destinations $[(4 \times 3) + (6 \times 4) + (10 \times 5) = 86]$



Fratar Method (6)

Solution

$$t_{ij}^f = t_{ij}^0 \frac{O_i^f}{O_i^0} \frac{D_j^f}{D_j^0} \frac{\sum_{k=1}^n t_{ik}^0}{\sum_{k=1}^n (D_k^f / D_k^0) (t_{ik}^0)} = (4 \times 2 \times 3) \frac{4+6+10}{86} = 6$$

$$t_{ik}^f = t_{ik}^0 \frac{O_i^f}{O_i^0} \frac{D_k^f}{D_k^0} \frac{\sum_{k=1}^n t_{ik}^0}{\sum_{k=1}^n (D_k^f / D_k^0) (t_{ik}^0)} = (6 \times 2 \times 4) \frac{4+6+10}{86} = 11$$

Total = 40

$$t_{il}^f = t_{il}^0 \frac{O_i^f}{O_i^0} \frac{D_l^f}{D_l^0} \frac{\sum_{k=1}^n t_{ik}^0}{\sum_{k=1}^n (D_k^f / D_k^0) (t_{ik}^0)} = (10 \times 2 \times 5) \frac{4+6+10}{86} = 23$$

อธิบายผล: $\frac{O_i^f}{O_i^0} = \frac{40}{20} = 2$ เท่ากับอัตราการเติบโตของพื้นที่ย่อยต้นทาง i ($\frac{O_i^f}{O_i^0} = 2$) ที่โจทย์กำหนดมา

แต่ $\frac{D_j^f}{D_j^0} = \frac{6}{4}, \frac{D_k^f}{D_k^0} = \frac{11}{6}, \frac{D_l^f}{D_l^0} = \frac{23}{10}$ ไม่เท่ากับอัตราการเติบโตของพื้นที่ย่อยปลายทาง j ($\frac{D_j^f}{D_j^0} = 3, \frac{D_k^f}{D_k^0} = 4, \frac{D_l^f}{D_l^0} = 5$) ที่โจทย์

กำหนดมา



Fratar Method (6)

Solution

$$t_{ij}^f = t_{ij}^0 \frac{O_i^f}{O_i^0} \frac{D_j^f}{D_j^0} \frac{\sum_{k=1}^n t_{ik}^0}{\sum_{k=1}^n (D_k^f / D_k^0) (t_{ik}^0)} = (4 \times 2 \times 3) \frac{4+6+10}{86} = 6$$

$$t_{ik}^f = t_{ik}^0 \frac{O_i^f}{O_i^0} \frac{D_k^f}{D_k^0} \frac{\sum_{k=1}^n t_{ik}^0}{\sum_{k=1}^n (D_k^f / D_k^0) (t_{ik}^0)} = (6 \times 2 \times 4) \frac{4+6+10}{86} = 11$$

Total = 40

$$t_{il}^f = t_{il}^0 \frac{O_i^f}{O_i^0} \frac{D_l^f}{D_l^0} \frac{\sum_{k=1}^n t_{ik}^0}{\sum_{k=1}^n (D_k^f / D_k^0) (t_{ik}^0)} = (10 \times 2 \times 5) \frac{4+6+10}{86} = 23$$

Although future trips produced by zone i meet requirement that $\frac{O_i^f}{O_i^0} = 2$,

the requirement that $\frac{D_i^f}{D_i^0} = 3, \frac{D_i^f}{D_i^0} = 4, \frac{D_i^f}{D_i^0} = 5$ are not met.



Fratar Method (7)

ตัวอย่าง 6.5: ตารางการเดินทางระหว่าง 3 พื้นที่ย่อยแสดงจำนวนการเดินทางในปีฐานดัง
ตารางด้านล่าง

Dest. Orig.	1	2	3	Total
1	1	4	2	7
2	6	2	3	11
3	4	1	2	7
Total	11	7	7	25



Fratar Method (7)

Example 6.5: A 3-by-3 trip table representing trips is shown in the following table, which is for the base year.

Dest. Orig.	1	2	3	Total
1	1	4	2	7
2	6	2	3	11
3	4	1	2	7
Total	11	7	7	25



Fratar Method (8)

อัตราเติบโตของพื้นที่ย่อยต้นทางและปลายทางในปีก่อนาคตแสดงดังตาราง

Zone	1	2	3
Origin factor (production)	2.0	3.0	4.0
Destination factor (attraction)	3.0	4.0	2.0

จงคำนวณการกระจายการเดินทางในปีก่อนาคตโดยวิธี Fratar



Fratar Method (8)

The next table indicates the origin and destination growth factors for the horizon year.

Zone	1	2	3
Origin factor (production)	2.0	3.0	4.0
Destination factor (attraction)	3.0	4.0	2.0

Use the Fratar technique to distribute the trips in the horizon year.



Fratar Method (9)

วิธีทำ

1) คำนวณจำนวนการสร้างการเดินทางและจำนวนการดึงดูดการเดินทางแต่ละพื้นที่
ย่อยในปีอนาคต (ผลรวมการเดินทางแต่ละแถวและสดมภ์) ซึ่งคำนวณได้จากคูณจำนวนการ
สร้างการเดินทางและจำนวนการดึงดูดการเดินทางแต่ละพื้นที่ย่อยในปีฐาน ด้วยอัตราการเติบโต
ของพื้นที่ย่อยต้นทางและปลายทางตารางการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย ซึ่งแสดงดังตาราง
ด้านล่าง

Dest. Orig.	1	2	3	Total
1	x	x	x	14
2	x	x	x	33
3	x	x	x	28
Total	33	28	14	75



Fratar Method (9)

Solution

In the horizon year, the desired trip table should resemble the following matrix, where the row and column total equal the corresponding base-year totals multiplied by the origin and destination growth factors.

Dest. Orig.	1	2	3	Total
1	x	x	x	14
2	x	x	x	33
3	x	x	x	28
Total	33	28	14	75



Fratar Method (10)

2) คำนวณหาค่า X_{ij} โดยวิธี Fratar โดยเริ่มจากคูณ t_{ij}^0 ด้วย Destination growth factors (DGF) ซึ่งได้ผลการคำนวณดังตารางด้านล่าง

Dest. Orig.	1	2	3	Total
1	1x3	4x4	2x2	...
2	6x3	2x4	3x2	...
3	4x3	1x4	2x2	...
Total	11x3	7x4	7x2	...

Dest. Orig.	1	2	3	Actual total	Desired total	Row factors
1	3.00	16.00	4.00	23.00	14.00	0.61
2	18.00	8.00	6.00	32.00	33.00	1.03
3	12.00	4.00	4.00	20.00	28.00	1.40
Total	33.00	28.00	14.00	75.00		

อภิปรายผล: จำนวนการสร้างการเดินทางของแต่ละพื้นที่ย่อยที่คำนวณได้ไม่ตรงกับค่าที่โจทย์กำหนดให้ ดังนั้น ต้องปรับแก้ค่าด้วย Row factors ซึ่งคำนวณได้จาก หาค่าที่โจทย์กำหนดให้ด้วยค่าที่คำนวณได้



Fratar Method (10)

Finding the missing x values (ij) is the main purpose of the Fratar technique. The next step is to multiply the destination growth factors (DGF) by the cell numbers, giving the following matrix.

Dest. Orig.	1	2	3	Actual total	Desired total	Row factors
1	3.00	16.00	4.00	23.00	14.00	0.61
2	18.00	8.00	6.00	32.00	33.00	1.03
3	12.00	4.00	4.00	20.00	28.00	1.40
Total	33.00	28.00	14.00	75.00		

However, actual row totals and the desired row totals do not match and a set of row factors to correct them is calculated.



Fratar Method (11)

3) คำนวณปรับแก้ค่าการกระจายการเดินทางด้วย Row factors ซึ่งได้ผลการคำนวณดังตารางด้านล่าง

Dest. Orig.	1	2	3	Total
1	2	10	2	14
2	19	8	6	33
3	16	6	6	28
Actual total	37	24	14	75
Desired total	33	28	14	
column factors	0.89	1.17	1.00	

อภิปรายผล: จำนวนการดึงดูดการเดินทางของแต่ละพื้นที่ย่อยที่คำนวณได้ไม่ตรงกับค่าที่โจทย์กำหนดให้ ดังนั้น ต้องปรับแก้ค่าด้วย Column factors ซึ่งคำนวณได้จาก หาค่าที่โจทย์กำหนดให้ด้วยค่าที่คำนวณได้



Fratar Method (11)

3) Now we multiply the row factors by the cell figures in the preceding matrix and obtain cell values as follows:

Dest. \ Orig.	1	2	3	Total
1	2	10	2	14
2	19	8	6	33
3	16	6	6	28
Actual total	37	24	14	75
Desired total	33	28	14	
column factors	0.89	1.17	1.00	

Notice that, again, the column totals do not match the desired column total, therefore a set of column factors are derived that will possibly correct the situation.



Fratar Method (12)

4) คำนวณปรับแก้ค่าการกระจายการเดินทางด้วย Column factors ซึ่งได้ผลการคำนวณดังตารางด้านล่าง

Dest. Orig.	1	2	3	Actual total	Desired total	Row factors
1	1.78	11.70	2.00	15.48	14	0.90
2	16.90	9.36	6.00	32.26	33	1.02
3	14.24	7.02	6.00	27.26	28	1.03
Total	32.92	28.08	14.00	75.00		



Fratar Method (12)

4) The column factors are multiplied by the cell figures of matrix, giving us a new matrix:

Dest. Orig.	1	2	3	Actual total	Desired total	Row factors
1	1.78	11.70	2.00	15.48	14	0.90
2	16.90	9.36	6.00	32.26	33	1.02
3	14.24	7.02	6.00	27.26	28	1.03
Total	32.92	28.08	14.00	75.00		



Fratar Method (13)

5) ทำการคำนวณซ้ำครั้งที่ 2 ด้วยกระบวนการเหมือนครั้งที่ 1 ได้ผลการคำนวณดังตาราง ซึ่งดีเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการวางแผนการขนส่งต่อไป (ค่า Row factors และ Column factors เข้าใกล้ 1.00)

Dest. Orig.	1	2	3	Total
1	2	10	2	14
2	17	10	6	33
3	15	7	6	28
Actual total	34	27	14	75
Desired total	33	28	14	
column factors	0.97	1.04	1.00	



Fratar Method (13)

5) Once again, the row totals and column totals are calculated and the process goes through for a second time, producing a matrix that is good enough for planning purposes.

Dest. Orig.	1	2	3	Total
1	2	10	2	14
2	17	10	6	33
3	15	7	6	28
Actual total	34	27	14	75
Desired total	33	28	14	
column factors	0.97	1.04	1.00	



Fratar Method (14)

6) หรือสามารถคำนวณปรับแก้ค่าการกระจายการเดินทางซ้ำ ครั้งที่ 3 (ด้วยกระบวนการเหมือนครั้งที่ 1) ได้ผลการคำนวณดังตารางด้านล่าง ซึ่งได้ผลใกล้เคียงกับค่าที่โจทย์กำหนดให้มากยิ่งขึ้น:

Dest. Orig.	1	2	3	Total
1	2	10	2	14
2	16	11	6	33
3	15	7	6	28
Total	33	28	14	75



Fratar Method (14)

6) It is possible to continue for one more iteration and get the following result:

Dest. Orig.	1	2	3	Total
1	2	10	2	14
2	16	11	6	33
3	15	7	6	28
Total	33	28	14	75



Fratar Method (15)

สรุปผลการคำนวณ

สรุปค่า **Column factors** เพื่อใช้ในการคำนวณซ้ำเพื่อปรับแก้ค่าแสดงดังตารางด้านล่าง

Column factor	1	2	3
First iteration	0.89	1.17	1.00
Second iteration	0.97	1.04	1.00
Third iteration	1.00	1.00	1.00

และ สรุปค่า **Row factors** เพื่อใช้ในการคำนวณซ้ำเพื่อปรับแก้ค่าแสดงดังตารางด้านล่าง

Row factor	First	Second	Third
1	0.61	0.90	0.98
2	1.03	1.02	1.01
3	1.04	1.03	1.01

อภิปรายสรุปผล

นักวางแผนสามารถคำนวณซ้ำจนกระทั่งค่าที่ได้จากการคำนวณใกล้เคียงกับค่าที่โจทย์กำหนดให้มากที่สุด โดยทั่วไป จะคำนวณซ้ำอย่างต่ำสองครั้ง



Fratar Method (15)

In summary, the column factor convergence is as follows:

Column factor	1	2	3
First iteration	0.89	1.17	1.00
Second iteration	0.97	1.04	1.00
Third iteration	1.00	1.00	1.00

and the row factor convergence is as follows:

Row factor	First	Second	Third
1	0.61	0.90	0.98
2	1.03	1.02	1.01
3	1.04	1.03	1.01

Discussion

The planner can continue to iterate until satisfied that the destinations calculated almost match the destinations desired. Generally, two iterations will do the job



แบบฝึกหัดที่ 6.1

เมืองหนึ่งแบ่งเป็น 3 พื้นที่ย่อย มีลักษณะจำนวนการสร้างการเดินทางและดึงดูดการเดินทางดังนี้

	Production	Attraction
Zone 1	500	400
Zone 2	600	800
Zone 3	200	100

Initial travel time factors are

Travel time (min)	10	15	20
F_{ij}	80	60	40

Distances (time):	
1-2:	10 min
2-3:	15 min
3-1:	20 min

Distribute the trips using the gravity model.



Assignment 6.1

A three-zone city has the following characteristics:

	Production	Attraction
Zone 1	500	400
Zone 2	600	800
Zone 3	200	100

Initial travel time factors are

Travel time (min)	10	15	20
F_{ij}	80	60	40

Distances (time):	
1-2:	10 min
2-3:	15 min
3-1:	20 min

Distribute the trips using the gravity model.



แบบฝึกหัดที่ 6.2

เมืองหนึ่งแบ่งเป็น 4 พื้นที่ย่อย มีจำนวนการสร้างการเดินทางและจำนวนการดึงดูดการเดินทางของพื้นที่ย่อยดังตาราง

								Travel time (min) F_{ij}	
Zone	Production	Attraction	Travel time (min)						
			Zone	1	2	3	4		
1	1000	3000	1	2	5	7	10	2	3.0
2	2000	3000	2	5	3	8	12	3	2.5
3	3000	2000	3	7	8	2	11	5	2.3
4	4000	2000	4	10	12	11	3	7	1.5
								8	1.2
								11	0.95
								12	0.90

จงคำนวณการกระจายการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย (T_{ij}) โดยสมมติว่า $k_{ij} = 1$



Assignment 6.2

A four-zone city has the following productions and attractions

			The travel time matrix is					Travel time (min) F_{ij}	
Zone	Production	Attraction	Travel time (min)						
			Zone	1	2	3	4		
1	1000	3000	1	2	5	7	10	2	3.0
2	2000	3000	2	5	3	8	12	3	2.5
3	3000	2000	3	7	8	2	11	5	2.3
4	4000	2000	4	10	12	11	3	7	1.5
								8	1.2
								11	0.95
								12	0.90

Apply the Gravity Model to distribute the trip (T_{ij}), Assuming $K_{ij} = 1$



แบบฝึกหัดที่ 6.3

เมืองที่ประกอบด้วยพื้นที่ย่อย 4 พื้นที่ มีตารางการเดินทางในปีฐาน และอัตราการเติบโต (Growth rate) ของพื้นที่ย่อยต้นทาง และพื้นที่ย่อยปลายทางใน 25 ปีข้างหน้าแสดงดังตาราง จงคำนวณหาจำนวนการกระจายการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยในปีอนาคต 25 ปีข้างหน้าโดยใช้ **Fratar Method** และให้ทำการคำนวณซ้ำเพียง 2 ครั้ง เท่านั้น

origin	Destination				Total	Origin growth factors
	1	2	3	4		
1	3	5	8	12	28	2
2	4	1	9	10	24	
3	2	4	2	7	15	
4	9	12	8	4	33	
Total	18	22	27	33	100	2

Destination growth factor:

3 0.5 4 1



Assignment 6.3

An urban area consisting of four zones has the base-year trip matrix shown. The growth rates for the origin and destination trips have been projected for a 25-year period. Using Fratar's techniques, calculate the number of trip interchanges in the horizon year. Do just two iterations.

origin	Destination				Total	Origin growth factors
	1	2	3	4		
1	3	5	8	12	28	2
2	4	1	9	10	24	1
3	2	4	2	7	15	4
4	9	12	8	4	33	2
Total	18	22	27	33	100	
Destination growth factor:						
	3	0.5	4	1		



References

1. Meyer, M. D. and Miller, E. J. (2001), Urban Transportation Planning, 2nd Edition, McGraw-Hill, Singapore.
2. Manheim, M. L. (1984), Fundamentals of Transportation Systems Analysis, The MIT Press, Cambridge, England
3. Khisty, C. J. and Lall, B. K. (2002), Transportation Engineering: An Introduction, 3rd Edition, Prentice Hall.
4. Tumlin, J. (2012), Sustainable Transportation Planning: tools for creating vibrant, healthy and resilient communities, John Wiley & Sons, New Jersey.



Thank you!

Contact Address:
Asst. Prof. Thaned Satiennam
Tel: 043-202-846
Email: sthaned@kku.ac.th
www.kku.ac.th

