

บรรยาย เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณผู้โดยสาร เพื่อการวางแผนการขนส่ง

โดย อาจารย์ ดร.ฐกมลพัศ เจนวนิวัฒนกุล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
และผู้เชี่ยวชาญประจำสถาบันการเติบโตอย่างชาญฉลาดประเทศไทย





การวิเคราะห์ปริมาณผู้โดยสาร เพื่อการวางแผนการขนส่ง

Development Scheme: HOD vs TOD

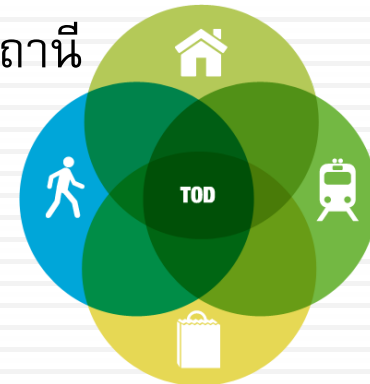
2

Highway Oriented Development (HOD)

- เข้า-ออกได้ตลอดทาง
- พัฒนาตามแนวถนน
 - ▣ แหวยาว
- ส่งเสริมการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล
 - ▣ เข้าถึงง่าย

Transit Oriented Development (TOD)

- เข้า-ออกได้เฉพาะที่สถานี
- พัฒนารอบสถานี
 - ▣ เป็นวงโดยรอบ
- ส่งเสริมการเดินทางแบบไม่ใช้เครื่องยนต์ (เดิน/จักรยาน)
 - ▣ อาศัย/ทำงานใกล้สถานี



หัวข้อการบรรยาย

3

- การคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสาร
 - ▣ ข้อมูลที่ใช้ เทคนิควิธีการ
 - ▣ ปัจจัยที่มีผลกระทบ
- การออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกบริเวณสถานี
 - ▣ ทางเดินเท้า บันได บันไดเลื่อน
 - ▣ ชานชาลา บริเวณรอคอย
 - ▣ ประตูเข้า-ออกสถานี
- แบบจำลองการวิเคราะห์ผู้โดยสาร
 - ▣ ตัวอย่างการนำไปใช้

การคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสาร

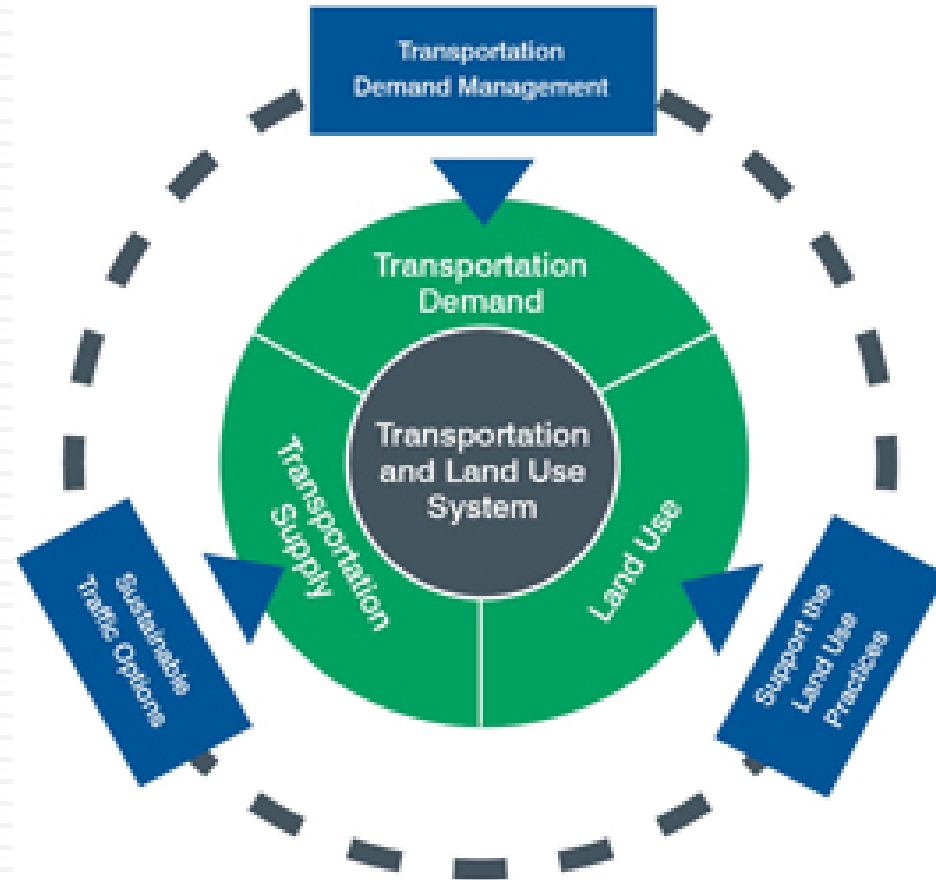
"Prediction is very difficult, especially if it's about the future."

--Nils Bohr, Nobel laureate in Physics

ทำไมต้องมีการเดินทาง

5

- เกิดจากความต้องการทำกิจกรรมที่จำเป็น
 - ▣ การศึกษาเล่าเรียน การทำงาน การซื้อของ การพักผ่อนหย่อนใจ กิจกรรมทางศาสนา เป็นต้น
- กิจกรรมเหล่านี้มักจะต้องการมีการเดินทาง
 - ▣ เพราะอยู่คนละที่กับที่อยู่อาศัย
- รูปแบบของการสัญจร
 - ▣ การเดิน จักรยาน รถประจำทาง รถไฟฟ้าขนส่งมวลชน รถยนต์รับจ้าง รถยนต์ส่วนบุคคล



<http://www.ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwa>

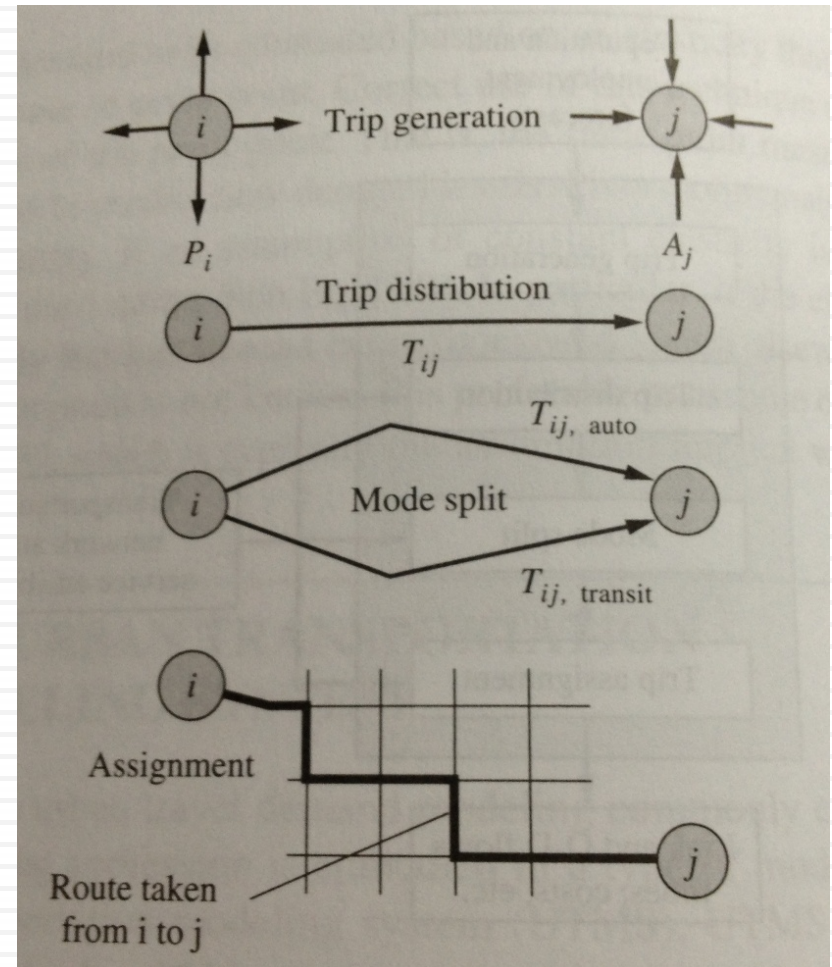
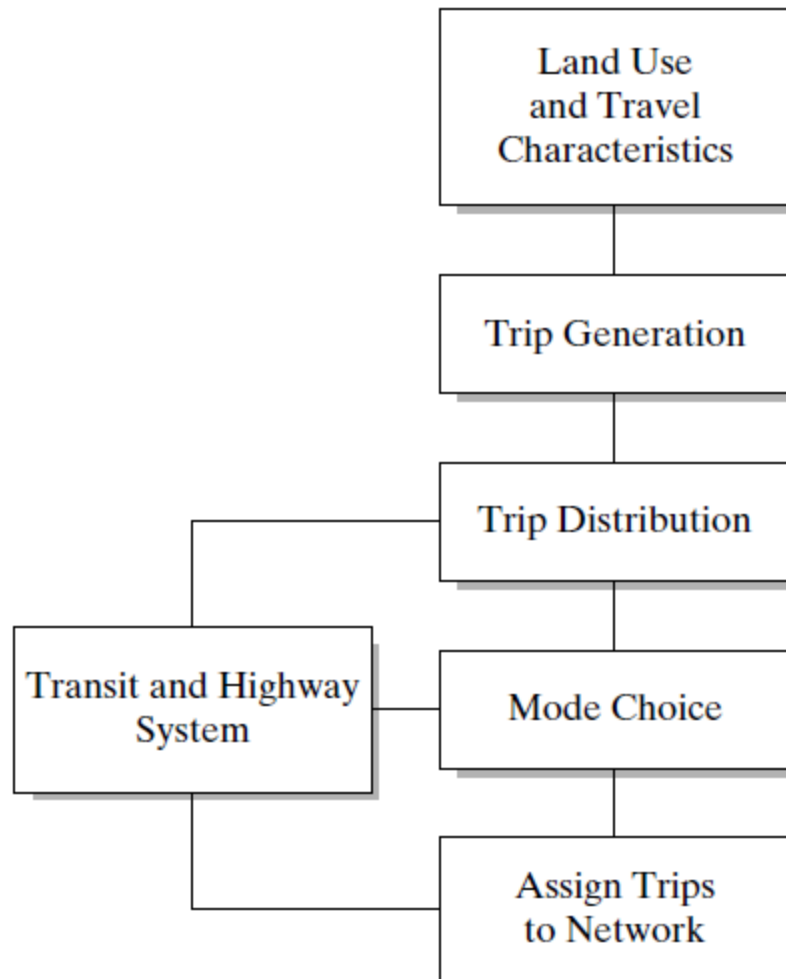
องค์ประกอบพื้นฐานในการคาดการณ์การเดินทาง

6

Data collection (population, land use, etc.)	Economic activity (employment, sales volume, income, etc.), land use (type, intensity), travel characteristics (trip and traveler profile), and transportation facilities (capacity, travel speed, etc.), population and demography, Origin-destination trip data.
Analysis of existing conditions and calibration	Analyze the data collected in the data collection stage. You may build mathematical models describe the existing conditions and then use the relationships you have found in the existing parameters to forecast future values.
Forecast of future travel demand	4-step transportation demand forecasting process
Analysis of the results	Analyze what you get from the 4-stop demand forecasting process

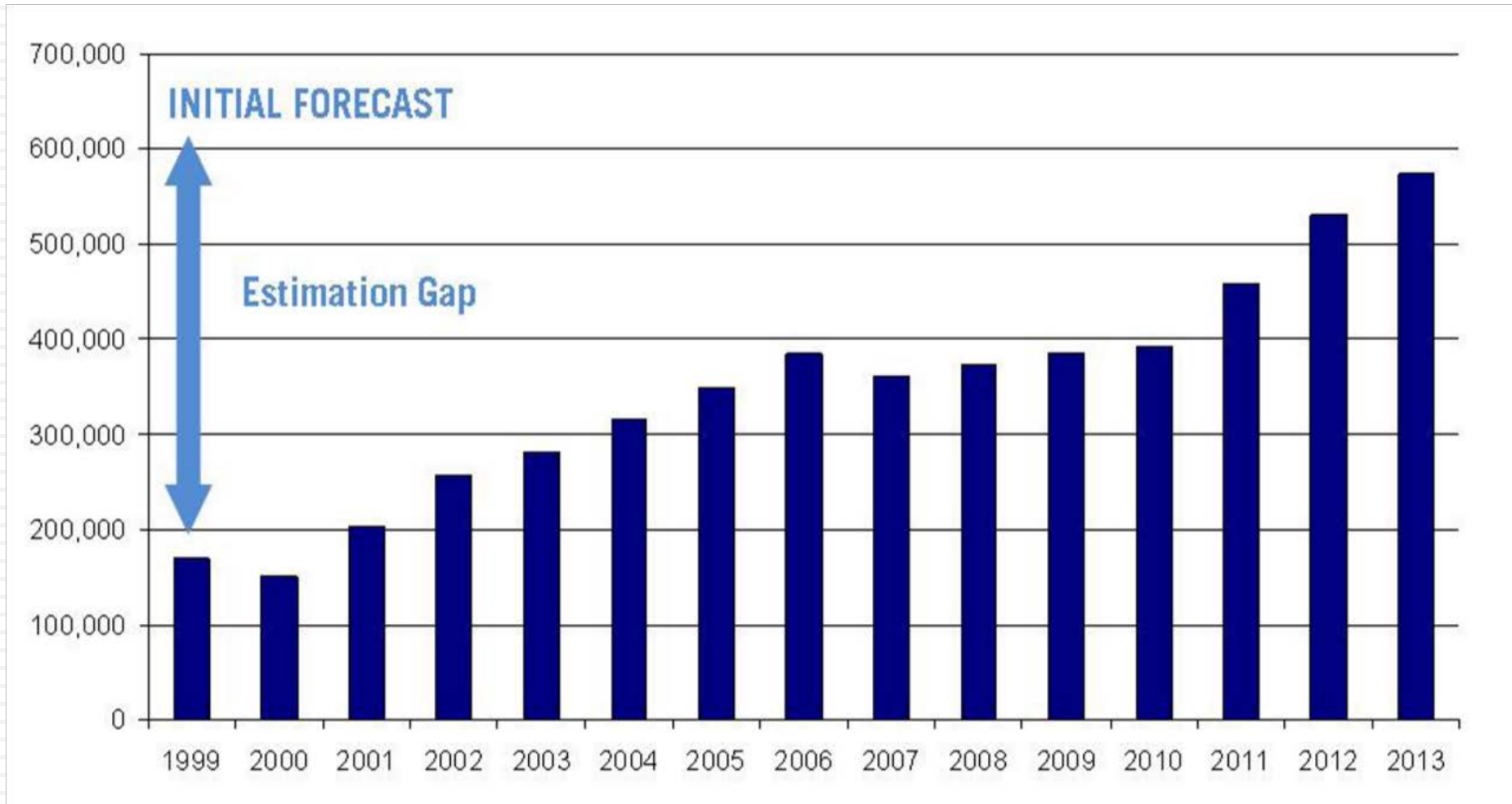
Classical Four-step Model

7



Ridership Forecast VS Actual (BTS)

8



Why???

9

- Missing Integration
- Accessibility
- Limited Network
- Fare Level
- Lack of Benchmark

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผู้โดยสาร

10

- การปรับปรุงการให้บริการ
 - ความครอบคลุม การจัดเส้นทาง ความถี่ ความตรงต่อเวลา ความเร็ว สิ่งอำนวยความสะดวก ยานพาหนะ ความปลอดภัย
- ความร่วมมือ/การประสานงาน
 - สถาบันการศึกษา การจัดการความต้องการ หน่วยงานด้านขนส่ง การจัดกิจกรรม
- การตลาด/ส่งเสริมการขาย
 - การบริการลูกค้า ข้อมูลประชาสัมพันธ์ รายการส่งเสริมการตลาดต่าง ๆ
- การจัดเก็บค่าโดยสาร
 - ความสะดวกในการจ่าย ตัวร่วม โครงสร้างค่าโดยสาร การลดค่าโดยสาร

ปัจจัยภายนอก

11

- ลักษณะด้านประชากรและการเปลี่ยนแปลง
- เงื่อนไขด้านเศรษฐกิจ
 - ระดับการจ้างงาน รายได้ การเป็นเจ้าของรถ
- รูปแบบการเดินทางทางเลือกอื่นและต้นทุน
- การใช้ประโยชน์ที่ดิน นโยบายและรูปแบบการพัฒนา
- เงื่อนไขการเดินทาง
 - สภาพอากาศ ระดับการติดขัด การปิดช่องทางเพื่อการก่อสร้าง
- นโยบายสาธารณะและมาตรการด้านการลงทุน

ปัจจัยในการเลือกรูปแบบการเดินทาง

12

- ความพร้อมและราคาของแต่ละรูปแบบ
 - ▣ ต้นทุนการใช้รถยนต์ส่วนตัว ต้นทุนการใช้ขนส่งมวลชน ค่าที่จอดรถ
- คุณภาพการให้บริการของแต่ละรูปแบบ
 - ▣ เวลาการเดินทาง ความสะดวกสบาย ความน่าเชื่อถือ ความปลอดภัย ภาพลักษณ์
- ลักษณะการเดินทางแต่ละครั้ง
 - ▣ ระยะทาง วัตถุประสงค์ จำนวนคนไปด้วยกัน จุดหมายปลายทางหลายจุด
- ลักษณะของผู้เดินทาง
 - ▣ รายได้ จุดเริ่มต้น/จุดปลายทาง สถานะทางสังคม

Transit Demand Elasticity

13

Table 11.3 *Recommended direct-transit elasticity values*

	Market segment	Short run	Long run
Transit demand in regard to the attribute of fares	Overall	−0.2 to −0.5	−0.6 to −0.9
	Peak hours	−0.15 to −0.3	−0.4 to −0.6
	Off-peak hours	−0.3 to −0.6	−0.8 to −1.0
	Suburban commuters	−0.3 to −0.6	−0.8 to −1.0
Transit demand in regard to the attributes of service quality	Overall	0.5 to 0.7	0.7 to 1.1
Transit demand in regard to the attribute of car operating cost	Overall	0.05 to 0.15	0.2 to 0.4
Car users in regard to transit costs	Overall	0.03 to 0.1	0.15 to 0.3

Source: Litman (2004), Table 11.

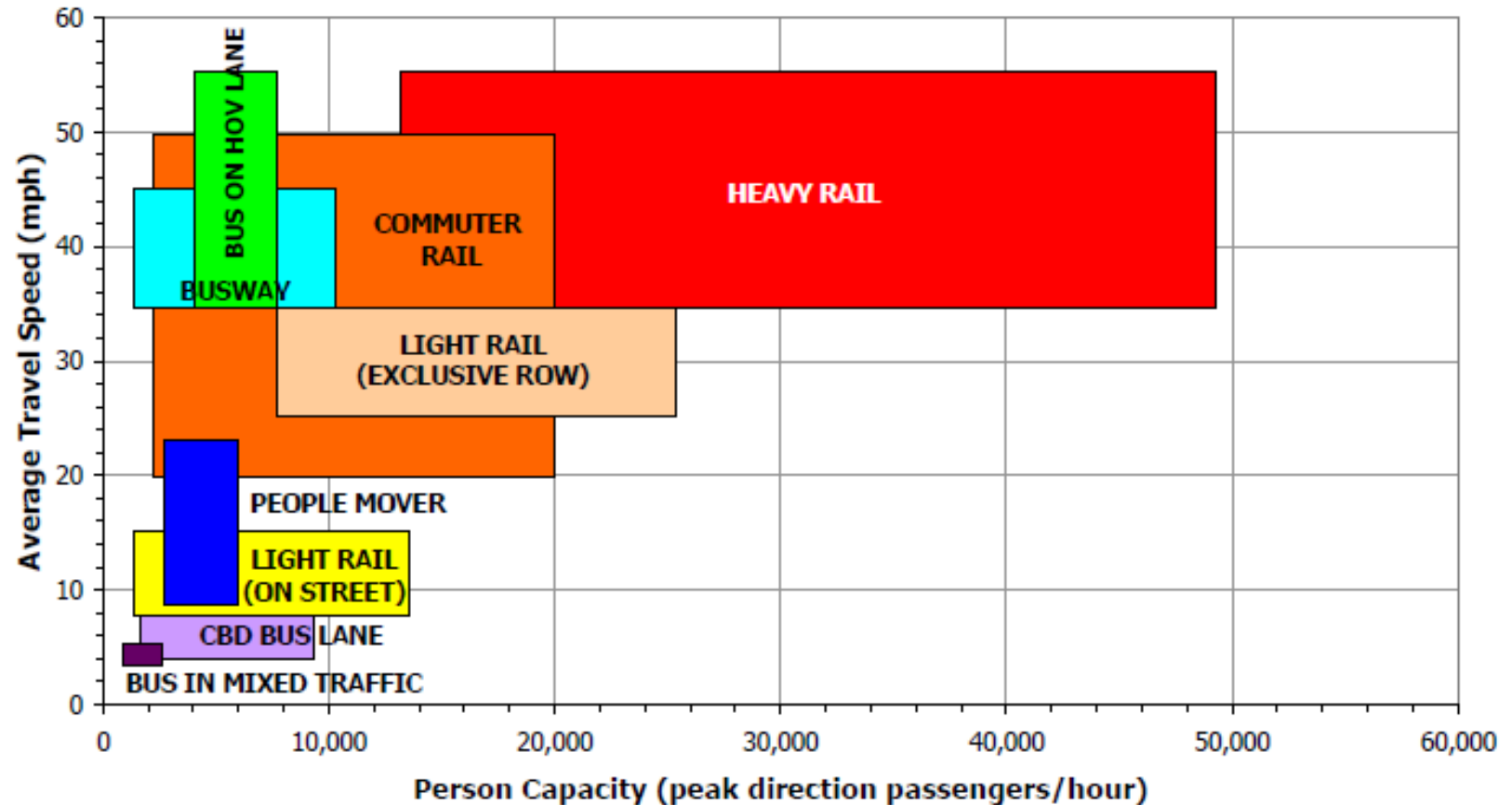
ประโยชน์ของข้อมูลปริมาณผู้โดยสาร

14

- ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน
 - ▣ ประเมินรายได้
 - ▣ หาแหล่งทุน
- เลือกรูปแบบระบบขนส่งเพื่อให้บริการ
- ขนาดความจุขบวนรถ
- ความถี่ในการเดินรถ
- ออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกบริเวณสถานี

ปริมาณผู้โดยสารกับระบบขนส่งที่เหมาะสม

15



SOURCES: TCQSM speed and capacity estimation procedures, *TCRP Report 13 (R5)*, *Transportation Planning Handbook (R2)*, *Characteristics of Urban Transportation Systems (R1)*

Transit Capacity and Quality of Service
Manual—2nd Edition

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ

17

- ปริมาณผู้โดยสาร
 - ▣ ในชั่วโมงเร่งด่วน มีค่าประมาณ **10%** ของปริมาณผู้โดยสารทั้งวัน
 - ▣ ช่วงเวลาสูงสุด **15** นาที
- ลักษณะการใช้พื้นที่ของผู้โดยสาร
- ลักษณะการไหลของผู้โดยสาร
- ความจุของสิ่งอำนวยความสะดวก
- ระดับการให้บริการที่ต้องการ

การครอบครองพื้นที่ของผู้โดยสาร

18

□ Exhibit 5-21 Passenger Space on Selected North American Heavy Rail Systems During Peak 15

System (City)	Passenger Space (based on gross floor space)	
	(ft ² /p)	(m ² /p)
NYCT (New York)	4.0 into CBD	0.38 into CBD
CTA (Chicago)	7.0 into CBD	0.67 into CBD
SEPTA (Philadelphia)	8.0 into CBD	0.77 into CBD
MBTA (Boston)	5.0 into CBD	0.50 into CBD
BART (San Francisco)	5.75-9.0	0.53-0.83
WMATA (Washington)	5.0-12.0	0.50-1.11
MARTA (Atlanta)	6.75-7.5	0.63-0.71
TTC (Toronto)	4.5-6.0	0.42-0.56
STM (Montréal)	3.4-4.0	0.31-0.38

CBD: central business district

พื้นที่ที่ต้องการของผู้โดยสารลักษณะต่าง ๆ

19

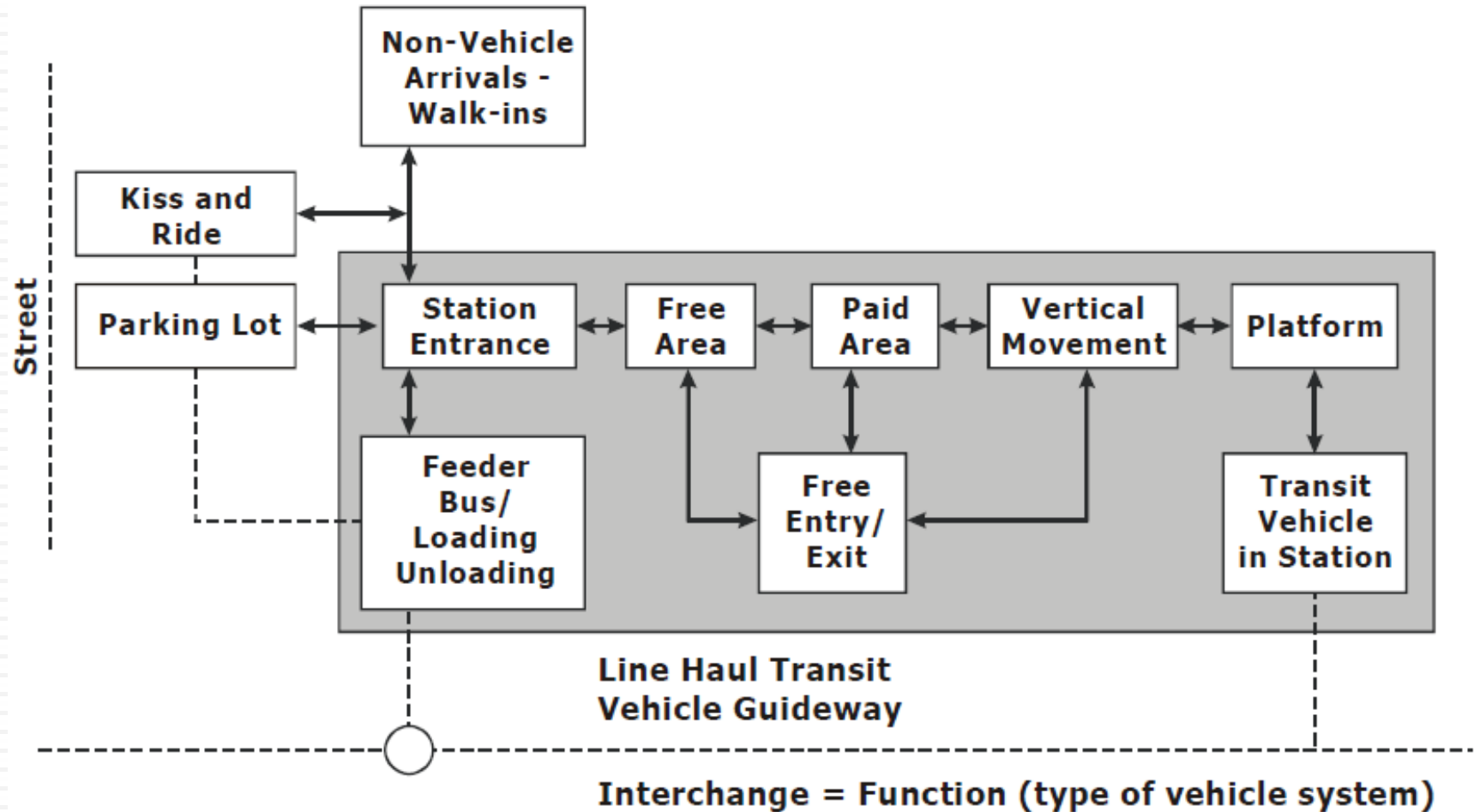
□ Exhibit 5-22 Male Passenger Space Requirements

Situation	Projected Area (ft ²)	Projected Area (m ²)
Standing	1.6-2.2	0.15-0.20
... with briefcase	2.7-3.2	0.25-0.30
... with daypack	3.2-3.8	0.30-0.35
... with suitcases	3.8-5.9	0.35-0.55
... with stroller	10.2-12.4	0.95-1.15
... with bicycle (horizontal)	17.2-20.4	1.60-1.90
Holding on to stanchion	2.7	0.25
Minimum seated space	2.7-3.2	0.25-0.30
Tight double seat	3.8 per person	0.35 per person
Comfortable seating	5.9 per person	0.55 per person
Wheelchair space (ADA)	10.0 (30 in x 48 in)	0.93 (0.76 m x 1.22 m)

NOTE: Stroller and bicycle dimensions based on review of manufacturer specifications.

การไหลของผู้โดยสารบริเวณสถานี

20



ทฤษฎีการไหลของคนเดินเท้า

21

Principles of Pedestrian Flow

The relationship between density, speed, and flow for pedestrians is described in the following formula:

$$v = S \times D$$

where:

- v = pedestrian flow per unit width (p/ft/min, p/m/min);
- S = pedestrian speed (ft/min, m/min); and
- D = pedestrian density (p/ft², p/m²).

The flow variable used in this expression is the “flow per unit of width” defined earlier. An alternative and more useful expression can be developed using the reciprocal of density, or *space*, as follows:

$$v = S / M$$

where:

- v = pedestrian flow per unit width (p/ft/min, p/m/min);
- S = pedestrian speed (ft/min, m/min); and
- M = pedestrian space (ft²/p, m²/p), adjusted as appropriate for pedestrian characteristics.

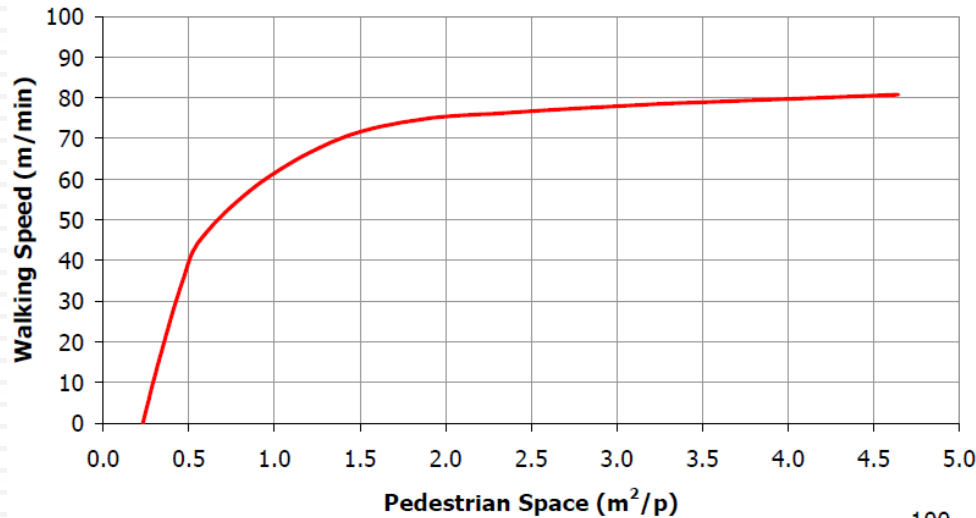
ปัจจัยการออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกในสถานี

22

Element	Components
Train Arrival	On- or off-schedule; train length; number and locations of doors
Passengers	Number boarding and alighting; boarding and alighting rates, passenger characteristics; mobility device use, baggage or packages carried, bicycles and strollers, etc.
Platform	Length, width, and effective area; locations of columns and obstructions; system coherence: stair and escalator orientation, lines of sight, signs, maps, and other visual information
Pedestrians	Walking distance and time; numbers arriving and waiting; effective area per pedestrian; levels of service
Stairs	Location; width; riser height and tread; traffic volume and direction; queue size; possibility of escalator breakdown
Escalators	Location; width; direction and speed; traffic volume and queue size; maintainability
Elevators	Location; size and speed; traffic volume and queue size; maintainability; alternate provisions for disabled passengers when elevator is non-functioning

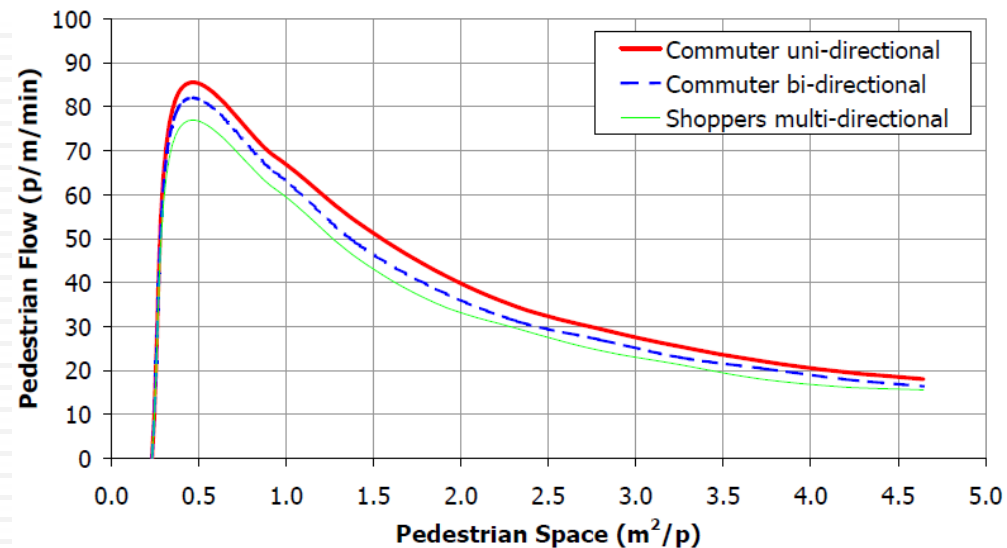
ความสัมพันธ์พื้นฐานของการเดินบนทางเดิน

23



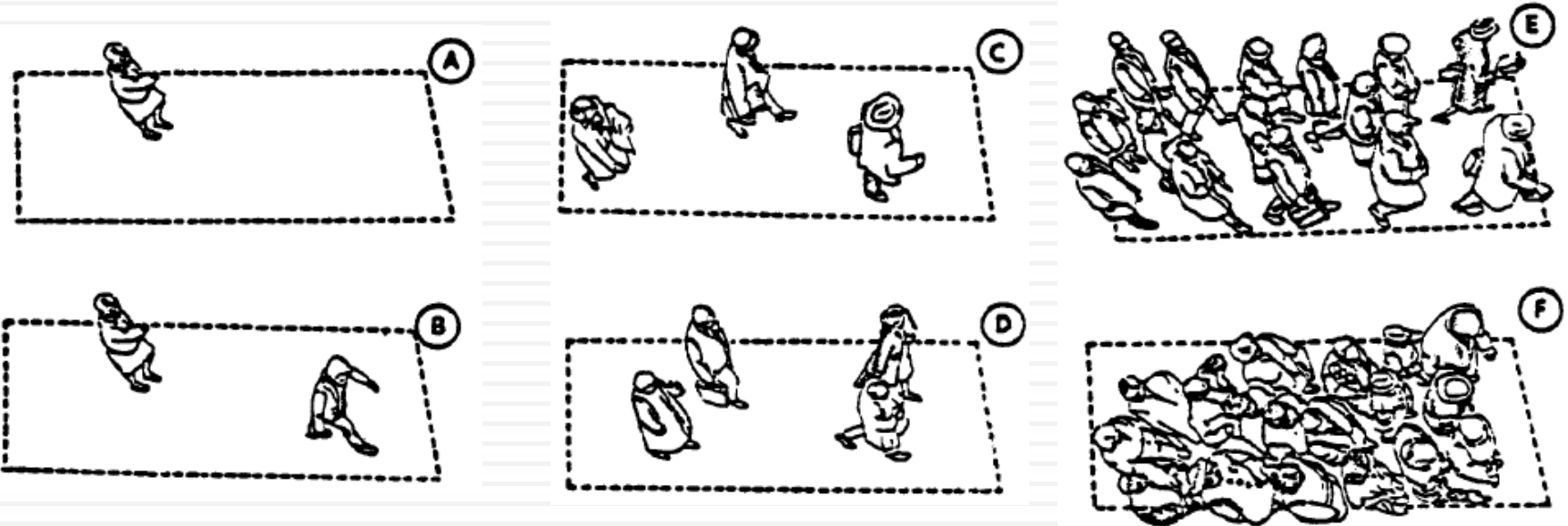
พื้นที่ต่อคน กับ ความเร็วในการเดิน

พื้นที่ต่อคน กับ อัตราการไหล



ระดับการให้บริการของทางเดิน

24

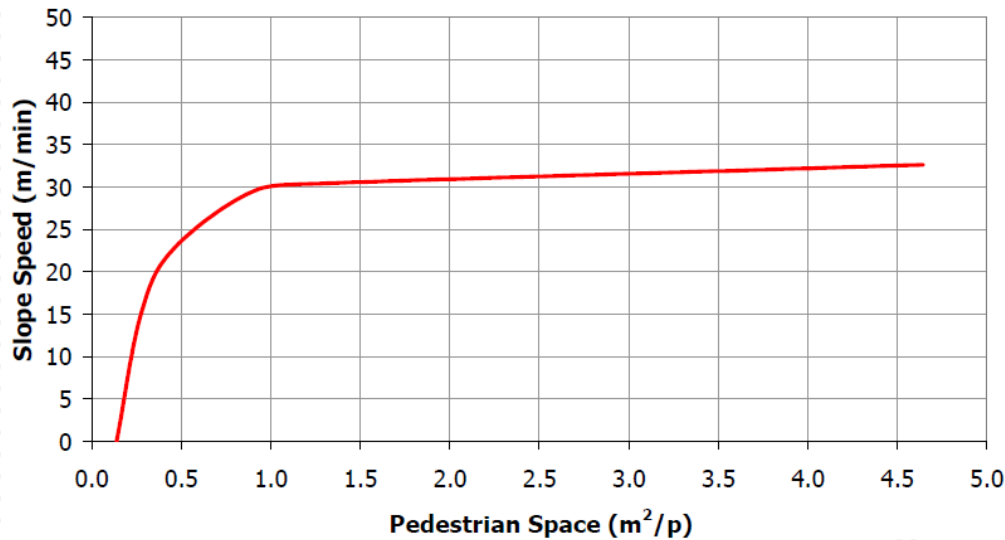


LOS	Pedestrian Space (m^2/p)	Expected Flows and Speeds		
		Avg. Speed, S (m/min)	Flow per Unit Width, v (p/m/min)	v/c
A	≥ 3.3	79	0-23	0.0-0.3
B	2.3-3.3	76	23-33	0.3-0.4
C	1.4-2.3	73	33-49	0.4-0.6
D	0.9-1.4	69	49-66	0.6-0.8
E	0.5-0.9	46	66-82	0.8-1.0
F	< 0.5	< 46	Variable	Variable

v/c = volume-to-capacity ratio

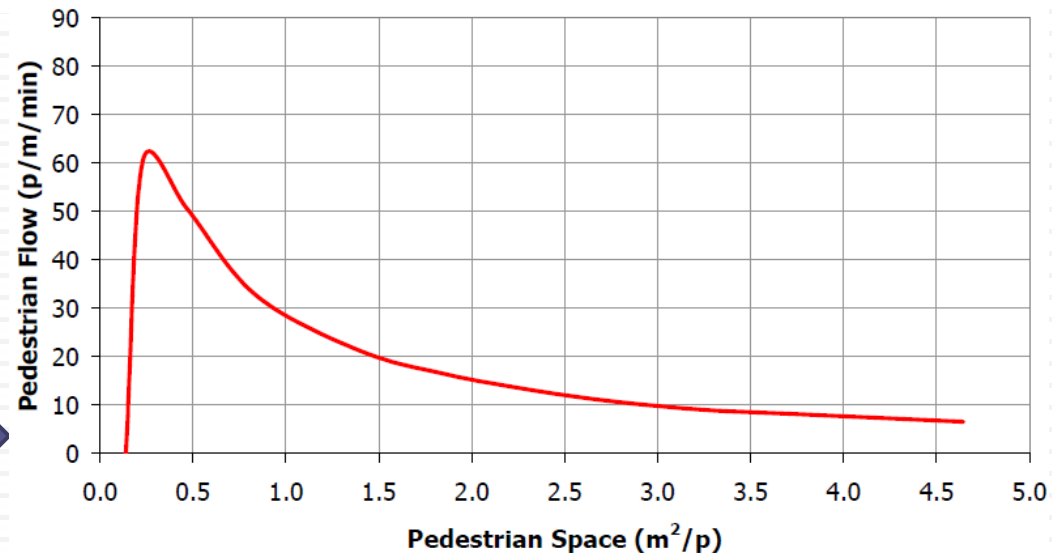
ความสัมพันธ์พื้นฐานของการเดินบนบันได

25



พื้นที่ต่อคน กับ ความเร็วในการเดิน

พื้นที่ต่อคน กับ อัตราการไหล



ระดับการให้บริการของบันได

26

LOS	<u>Avg. Ped. Space</u>		<u>Flow per Unit Width</u>		Description
	(ft ² /p)	(m ² /p)	(p/ft/min)	(p/m/min)	
A	≥ 20	≥ 1.9	≤ 5	≤ 16	Sufficient area to freely select speed and to pass slower-moving pedestrians. Reverse flows cause limited conflicts.
B	15-20	1.4-1.9	5-7	16-23	Sufficient area to freely select speed with some difficulty in passing slower-moving pedestrians. Reverse flows cause minor conflicts.
C	10-15	0.9-1.4	7-10	23-33	Speeds slightly restricted due to inability to pass slower-moving pedestrians. Reverse flows cause some conflicts.
D	7-10	0.7-0.9	10-13	33-43	Speeds restricted due to inability to pass slower-moving pedestrians. Reverse flows cause significant conflicts.
E	4-7	0.4-0.7	13-17	43-56	Speeds of all pedestrians reduced. Intermittent stoppages likely to occur. Reverse flows cause serious conflicts.
F	≤ 4	≤ 0.4	Variable	Variable	Complete breakdown in pedestrian flow with many stoppages. Forward progress dependent on slowest moving pedestrians.

ความจุของบันไดเลื่อน

27

- ผู้ผลิตให้ความจุที่ **100% Step Utilization**
- การใช้งานจริงจะไม่ถึง เนื่องจาก
 - ▣ การมาถึงของผู้ใช้ไม่ต่อเนื่อง
 - ▣ ไม่สามารถขึ้นได้อย่างรวดเร็ว
 - ▣ มีกระเป๋หรือสัมภาระ
 - ▣ ผู้ใช้ต้องการพื้นที่ว่างระหว่างกัน
- ต้องพิจารณาพื้นที่รอคอยด้วย



Type	Width at Tread		Incline Speed		Nominal Capacity	
	(in.)	(m)	(ft/min)	(m/min)	(p/h)	(p/min)
Single-width	24	0.6	90	27.4	2,040	34
			120	36.6	2,700	45
Double-width	40	1.0	90	27.4	4,080	68
			120	36.6	5,400	90

บริเวณรอคอย - ระดับการให้บริการ

28



LOS	<u>Average Pedestrian Area</u>		<u>Average Inter-Person Spacing</u>	
	(ft ² /p)	(m ² /p)	(ft)	(m)
A	≥ 13	≥ 1.2	≥ 4.0	≥ 1.2
B	10-13	0.9-1.2	3.5-4.0	1.1-1.2
C	7-10	0.7-0.9	3.0-3.5	0.9-1.1
D	3-7	0.3-0.7	2.0-3.0	0.6-0.9
E	2-3	0.2-0.3	<2.0	<0.6
F	< 2	< 0.2	Variable	Variable

ความจุของสถานชานชาลา

29

A key capacity analysis for larger transit stations is the platform exit capacity needed to accommodate passenger demands during the peak period. This capacity ensures that each station platform is clear before the next train arrives. The general solution is as follows:

$$\frac{\text{Passengers/train}}{\text{Capacity (passengers/minute)}} \leq \text{Train headway (minutes)}$$

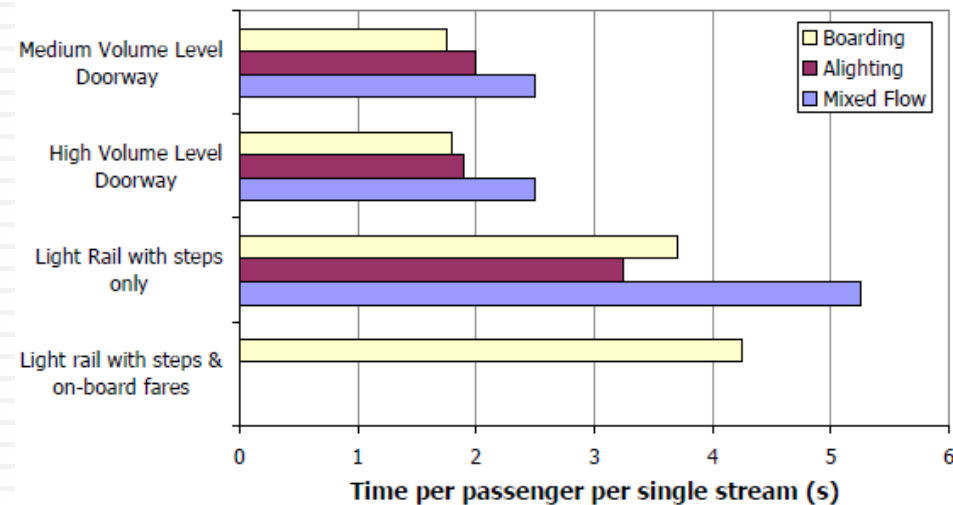
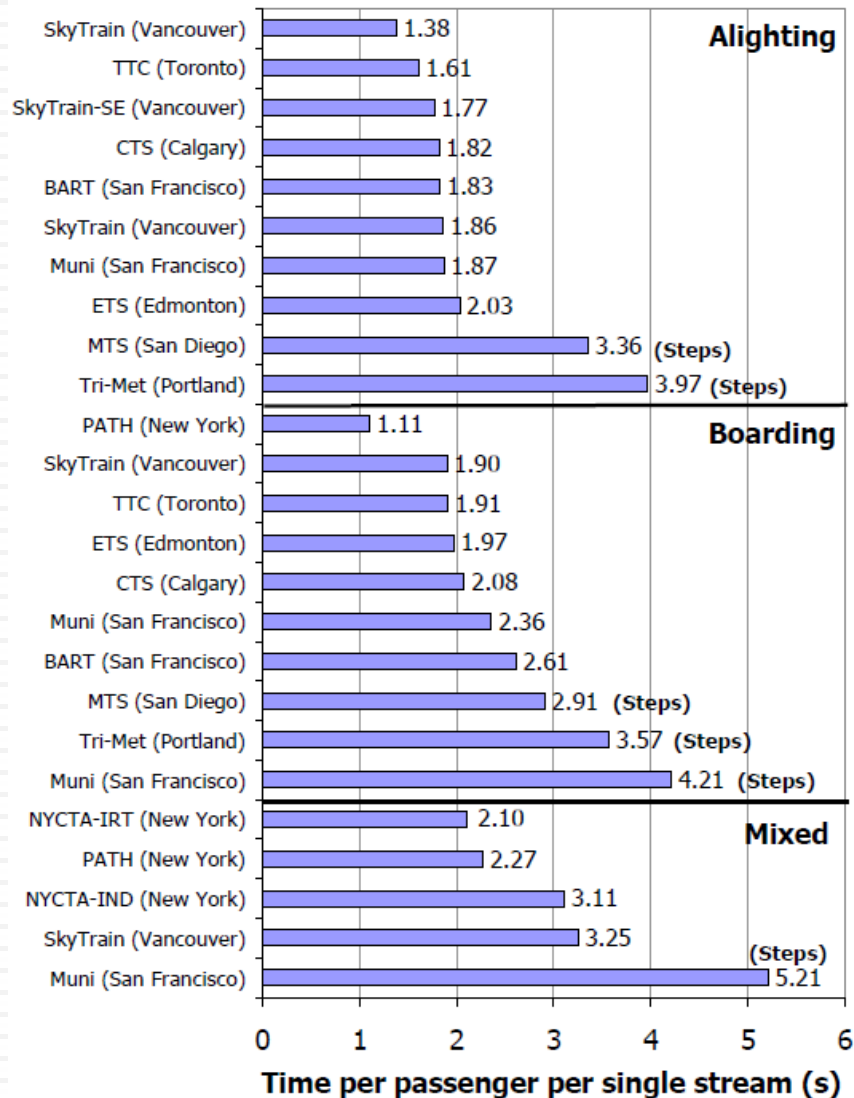
or

$$\text{Capacity (passengers/minute)} \geq \frac{\text{Passengers/train}}{\text{Train headway (minutes)}}$$

Because people may not use, or be able to use, all available exits, some safety factor is needed. This could be as much as 20 to 30%.

เวลาการเข้าออกประตูรถไฟที่ชานชาลา

30



ความจุของประตูเข้าพื้นที่สถานี

31

- พิจารณาจากเวลาที่ผู้โดยสารผ่านประตู
- ขึ้นอยู่กับระบบตัว

Type of Entrance	Observed Average Headway (s)	Equivalent Pedestrian Volume (p/min)
Free admission (barrier only)	1.0-1.5	40-60
Ticket collection by staff	1.7-2.4	25-35
Single-slot coin- or token-operated	1.2-2.4	25-50
Double-slot coin-operated	2.5-4.0	15-25
Card reader (various types)	1.5-4.0	25-40
High entrance/exit turnstile	3.0	20
High exit turnstile	2.1	28
Exit gate, 3.0 ft (0.9 m) wide	0.8	75
Exit gate, 4.0 ft (1.2 m) wide	0.6	100
Exit gate, 5.0 ft (1.5 m) wide	0.5	125

ที่จอดรถ/รับ-ส่ง

32

□ Park-and-Ride Facilities

- ▣ จอดรถไว้แล้วใช้ขนส่งมวลชน



□ Kiss-and-Ride Facilities

- ▣ จอดรับ-ส่งเท่านั้น



33

แบบจำลองการเคลื่อนตัวของผู้โดยสาร

Pedestrian Micro-Simulation

ซอฟต์แวร์แบบจำลองคนเดิน

34

Subway Entrance Hall Model

Anylogic® Pedestrian Library Example



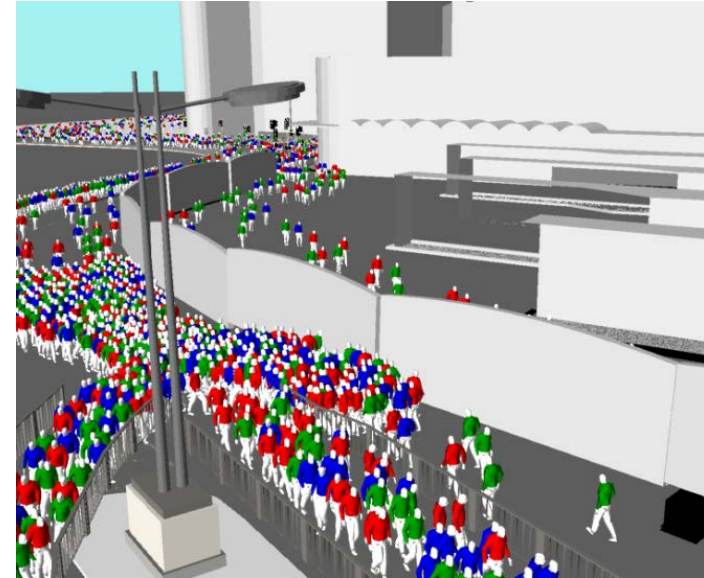
This sample model represents possible passenger flows in entrance hall of the simulated subway station.

Multiple passengers go through the ticket control to or from the subway. When going to subway part of them buy tickets at manual ticket offices or automatic ticket selling machines.

The subway station hall is equipped with

- automated ticket selling machines
- ticket offices
- automated ticket control (pay-passes)

Visitors choose their way to their targets in "free" space, without strict guidelines, walking around obstacles.



ประโยชน์ของการใช้แบบจำลอง

35

- สามารถเห็นภาพ เข้าใจง่าย อธิบายได้ง่าย
 - ตัวเลขวัดผลต่าง ๆ อาจเห็นภาพไม่ชัด
- เป็นการวิเคราะห์ระดับจุลภาค สามารถใส่ลักษณะเฉพาะของแต่ละที่ได้
 - วัดผลได้เช่นกัน มีความน่าเชื่อถือ ถ้าแบบจำลองมีการปรับเทียบที่ถูกต้อง
- เป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบและตัดสินใจ
- ใช้ในการระบุปัญหา แก้ไขปัญหา และประเมินผล

Pedestrian Modeling Input Step

□ 1 Object Input

- ▣ Walking area, Stair, Escalator, Ok

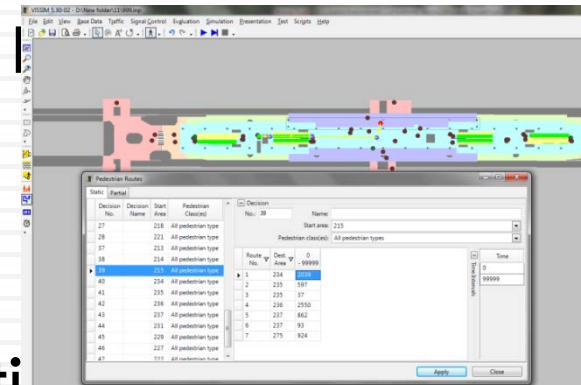
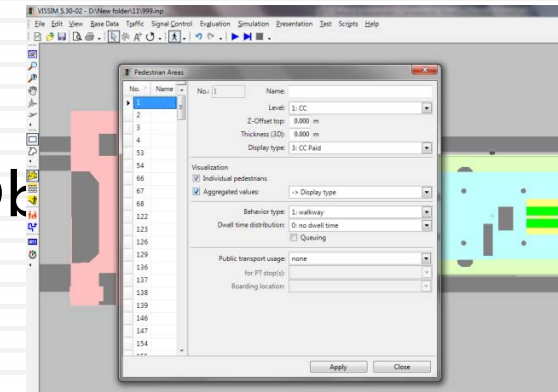
□ 2 Pedestrian Input

- ▣ Pedestrian data, Walking behavior, Pedestrian route

□ 3 Train Input

- ▣ Train dimensions, Train capacity, I time

□ 4 Model Evaluation

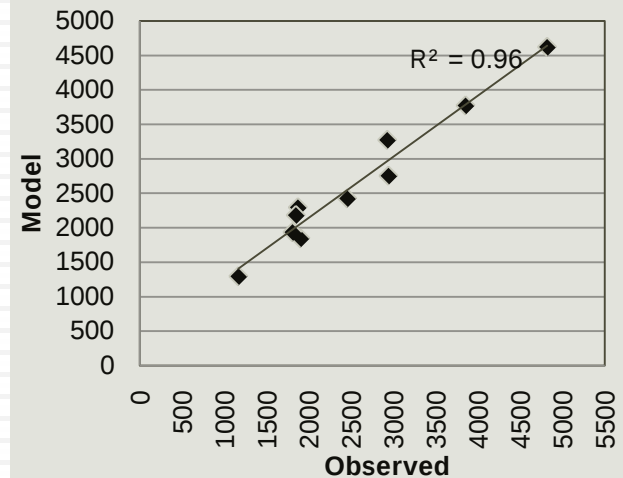


Model Calibration

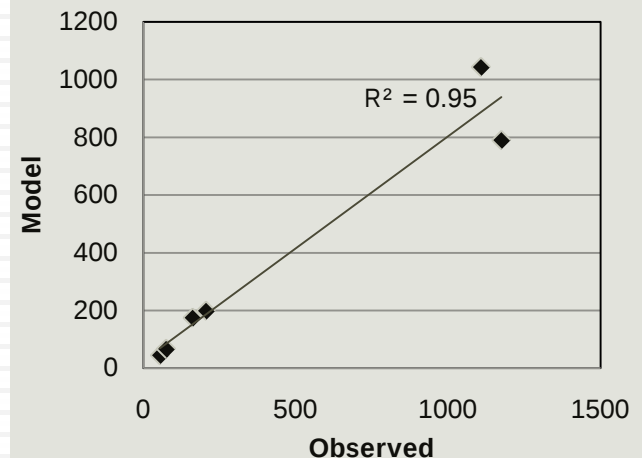
Esc	Direction	Existing		Calibration	
		Pax/ hour	V/C Peak Hour	Pax/ hour	V/C Peak Hour
ESC 2	Up	2940	0.49	2754	0.46
ESC 3		2925	0.49	3274	0.55
ESC 6		1868	0.31	2295	0.38
ESC 7		1844	0.31	2182	0.36
ESC 1	Down	1899	0.32	1844	0.31
ESC 4		2452	0.41	2425	0.40
ESC 5		3852	0.64	3774	0.63
ESC 8		4817	0.80	4624	0.77
ESC 9		1164	0.19	1294	0.22
ESC 10		1804	0.30	1935	0.32
Stair	Direction	Existing		Calibration	
		pax/ hour	V/C Peak Hour	pax/ hour	V/C Peak Hour
Stair1	Bi-direction	55	0.01	45	0.01
Stair2	Bi-direction	1175	0.16	790	0.20
Stair3	Bi-direction	1108	0.15	1043	0.26
Stair4	Bi-direction	206	0.05	199	0.05
Stair5	Bi-direction	162	0.04	175	0.04
Stair 6	Bi-direction	75	0.02	67	0.02

Credit : Systra MVA (Thailand) Ltd.

Escalator Pedestrian Calibration



Stair Pedestrian Calibration



Simulation Screenshots

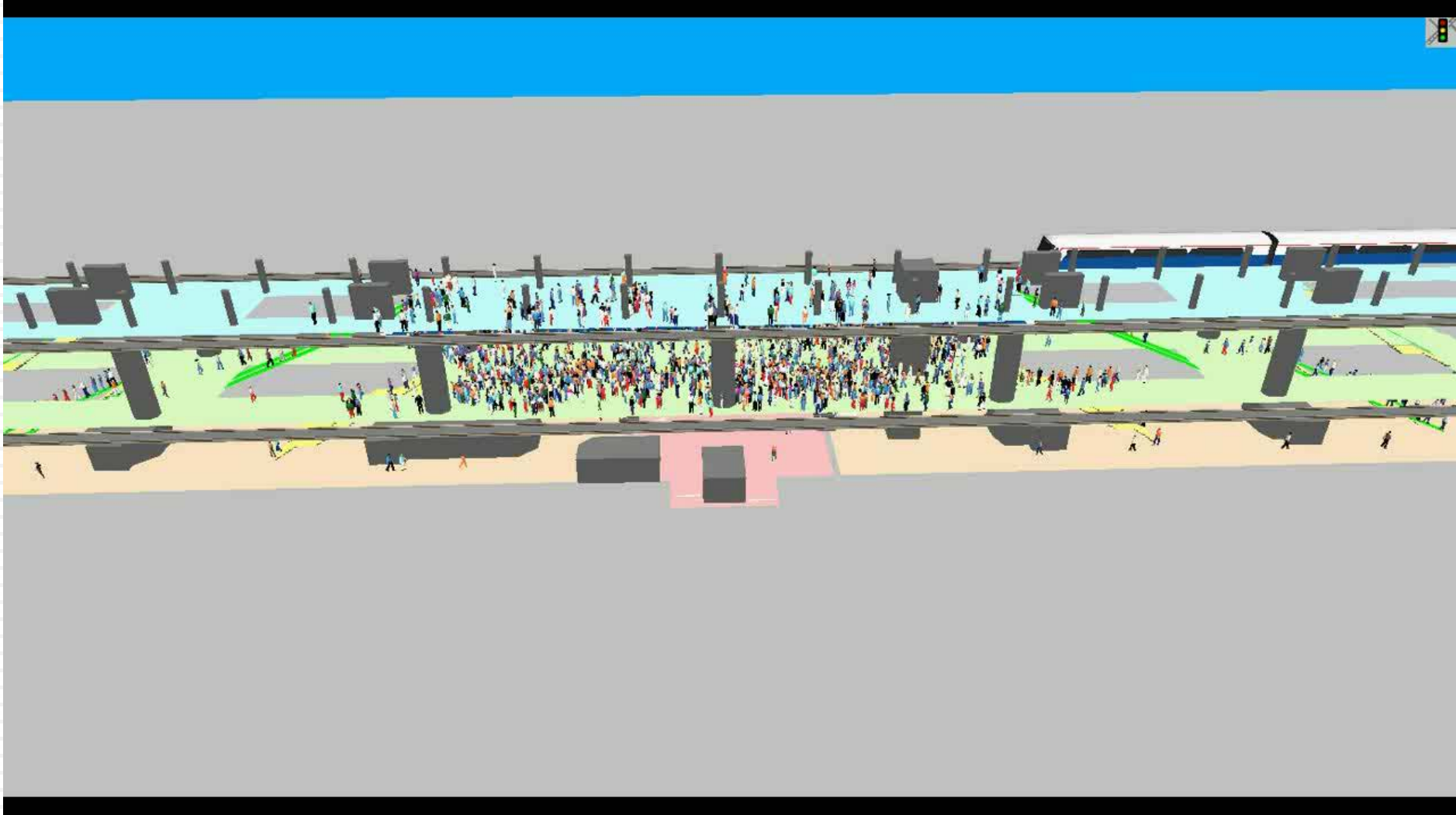
38



Credit : Systra MVA (Thailand) Ltd.

Simulation Demonstration

39



Credit : Systra MVA (Thailand) Ltd.

Simulation Results

40

Test Case	Schemes	Passengers Demand	Train Operation		Station Elements		Avg. Walking Travel time to Station Gates (min.)				
			Headway	No. of trains	Stop Locations	Vertical Transportation	Platform 1	Platform 2	Platform 3	Platform 4	Longest Route
Model Calibration											
	3&3 trains Existing Demand, current stop location	Year 2010	Suk 2:30 min., Silom 4:50 min.	3 & 4 trains	Current	Current	1:23	1:32	2:05	2:15	3:05
Forecasting : Do Nothing											
1*	3&4 trains Existing Demand, current stop location	Year 2010	Suk 2:40 min., Silom 4:30 min.	3 & 4 trains	Current	Current	1:28	1:48	3:37	3:32	3:53
2	3&4 trains next 3-year Demand, current stop location	Year 2013 (1)	Suk 2:40 min., Silom 4:30 min.	3 & 4 trains	Current	Current	1:54	1:37	3:54	3:54	4:45
3	4&4 trains next 10-year Demand, current stop location	Year 2020 (2)	Suk 2:4 min., Silom 4:30 min.	4 & 4 trains	Current	Current	2:36	2:09	4:57	5:34	5:39

Test Case	Schemes	Passengers Demand	Train Operation		Station Elements		Platform Density (sq.m/per)			
			Headway	No. of trains	Stop Locations	Vertical Transportation	Platform 1	Platform 2	Platform 3	Platform 4
Model Calibration										
	3&3 trains Existing Demand, current stop location	Year 2010	Suk 2:30 min., Silom 4:50 mim.	3 & 4 trains	Current	Current	1.04 (LOS D)	0.60 (LOS E)	0.50 (LOS E)	0.50 (LOS E)
Forecasting : Do Nothing										
1*	3&4 trains Existing Demand, current stop location	Year 2010	Suk 2:40 min., Silom 4:30 mim.	3 & 4 trains	Current	Current	0.90 (LOS E)	0.86 (LOS E)	0.52 (LOS E)	0.49 (LOS F)
2	3&4 trains next 3-year Demand, current stop location	Year 2013 (1)	Suk 2:40 min., Silom 4:30 mim.	3 & 4 trains	Current	Current	0.78 (LOS E)	0.62 (LOS E)	0.36 (LOS F)	0.40 (LOS F)
3	4&4 trains next 10-year Demand, current stop location	Year 2020 (2)	Suk 2:4 min., Silom 4:30 mim.	4 & 4 trains	Current	Current	0.88 (LOS E)	0.58 (LOS E)	0.25 (LOS F)	0.21 (LOS F)
Forecasting : Change Stop Location										
1	3&4 trains Existing Demand, current stop location	Year 2010	Suk 2:4 min., Silom 4:30 mim.	3 & 4 trains	Current	Current	1.03 (LOS D)	0.85 (LOS E)	0.61 (LOS E)	0.81 (LOS E)

Credit : Systra MVA (Thailand) Ltd.

41

Thank you !!!

Questions & Answers & Discussions