

**การพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์สำหรับการศึกษาระบบแถวคอย  
บนสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสสะพานตากสินด้วยโปรแกรม PTV Viswalk  
DEVELOPMENT OF SIMULATION FOR QUEUING SYSTEM  
AT SAPHAN-TAKSIN BTS STATION BY USING PTV VISWALK**

ปิยพัชร เพ็ชรจันทร์<sup>1</sup> และ อัมพล การณสุนทวงษ์<sup>2</sup>

<sup>1</sup>นักศึกษา, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ

กรุงเทพมหานคร 10140, piyapat.petchan@mail.kmutt.ac.th

<sup>2</sup>อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ

กรุงเทพมหานคร 10140, ampol.kar@kmutt.ac.th

Piyapat Petchan<sup>1</sup> and Ampol Karoonsoontawong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126 Pracha Uthit Rd., Bang Mod,

Thung Khru, Bangkok 10140, Thailand, piyapat.petchan@mail.kmutt.ac.th

<sup>2</sup>Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126 Pracha Uthit Rd., Bang Mod,

Thung Khru, Bangkok 10140, Thailand, ampol.kar@kmutt.ac.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมแถวคอยของผู้ใช้บริการ ณ จุดให้บริการ และวิเคราะห์ปัญหาของระบบการให้บริการบนสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสสะพานตากสิน ด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ในโปรแกรม PTV Viswalk จากกรณีศึกษาดังกล่าว จุดวิกฤตของการให้บริการ คือ ห้องจำหน่ายตั๋วโดยสารและแลกเหรียญ (Ticket Office) และเครื่องจำหน่ายตั๋วอัตโนมัติชนิดไม่รับธนบัตร (Ticket Issuing Machine: TIM) ด้วยข้อจำกัดด้านพื้นที่ของสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสสะพานตากสินที่มีลักษณะโครงสร้างอาคารแตกต่างจากสถานีทั่วไป การวิจัยจึงได้จำลองสถานการณ์ 2 รูปแบบ เพื่อหาแนวทางการแก้ปัญหาที่เหมาะสม โดยงานวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองสถานการณ์รูปแบบปัจจุบัน เปรียบเทียบกับรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 และทำการวัดผลโดยใช้ตัวชี้วัด คือ ผลรวมของเวลาในแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการ และผลรวม

ความยาวของแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการ จากผลการศึกษสามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองสถานการณ์รูปแบบที่ 1 ซึ่งมีแนวทางการปรับปรุง คือ การเพิ่มจุดให้บริการห้องจำหน่ายตั๋วโดยสารและแลกเหรียญ (Ticket Office) จำนวน 1 ห้อง และเพิ่มตู้จำหน่ายตั๋วอัตโนมัติชนิดรับธนบัตร (TVM) จำนวน 2 เครื่อง ทั้ง 2 ฝั่ง ทางเข้าและออก 1-2 และทางเข้าและออก 3-4 มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการปรับปรุงระบบแถวคอยบนสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสสะพานตากสิน ซึ่งมีเวลาในแถวคอยเฉลี่ยน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 25.54 วินาที และความยาวของแถวคอยเฉลี่ยน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.53 คน

**คำสำคัญ:** คนเดินเท้า, แถวคอย, แบบจำลองสถานการณ์, โปรแกรม PTV Viswalk

### ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate service user queuing behavior of customers at service points and problem analysis of service system at SAPHAN-TAKSIN BTS station by study of simulation for queuing system using PTV Vliwalk. Case study, the critical point of service is the ticket office and Ticket Issuing Machine (TIM). With station space restrictions which has a different building structure from the general station. The research therefore simulated 2 scenarios in order to find suitable solutions. This research compared the original scenario with scenario 1 and scenario 2. According to PTV Viswalk, there is indicators consist of aggregated total average time in queue of each model and total average queue length of each model. All parameters indicate that the model 1 is the most efficient model. It has been renovated by adding 1 ticket office and 2 ticket vending machines (TVM) at Exit 1-2 and Exit 3-4. Which had the minimum average queuing time was 25.54 seconds and the minimum average queuing length was 0.53 people.

**KEYWORDS:** Pedestrian, PTV Viswalk, Queuing, Simulation

### 1. บทนำ

ปัจจุบันการเดินทางด้วยยานพาหนะต่าง ๆ ของประเทศไทย ในพื้นที่กรุงเทพมหานครนับว่ามีอุปสรรคเป็นอย่างมาก เนื่องจากสภาพปัญหาด้านสภาพการจราจรที่แออัด อันเกิดจากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น การใช้ถนนของประชาชนเพื่อออกไปทำกิจกรรมต่าง ๆ ในช่วงเวลาเดียวกัน เป็นผลให้ความจุของถนนไม่เพียงพอต่อความต้องการ ระบบขนส่งมวลชนสาธารณะที่เข้ามาบทบาทสำคัญอย่างมากสำหรับการเดินทางในชีวิตประจำวันของคนกรุงเทพมหานคร คือ ระบบ

ขนส่งทางราง ซึ่งได้แก่ รถไฟฟ้าบีทีเอส รถไฟฟ้ามหานคร และรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยาน เนื่องจากมีความสะดวก รวดเร็ว และปลอดภัย

ด้วยรถไฟฟ้าบีทีเอสที่เป็นทางเลือกที่สำคัญของประชาชนในการตัดสินใจเลือกใช้ในการเดินทางชั่วโมงเร่งด่วน อย่างไรก็ตาม กรุงเทพมหานครและพื้นที่ต่อเนื่องที่มีระบบขนส่งมวลชนสาธารณะครอบคลุมถึงนั้น ยังมีปัญหาการให้บริการอยู่ ซึ่งจำเป็นต้องมีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น อาทิเช่น ระบบแถวคอยในการเข้ารับบริการที่ยุ่งยาก ซับซ้อน และขาดความต่อเนื่อง

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาระบบแถวคอยในการเข้ารับบริการของสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส สะพานตากสิน เพื่อหาแนวทางการแก้ปัญหาที่เหมาะสม เนื่องด้วยตัวสถานีเป็นจุดเชื่อมต่อของระบบขนส่งสาธารณะหลายรูปแบบ ทั้งรถเมล์ และทางเรือ ซึ่งมีผู้มาใช้บริการจำนวนมากและมักเกิดปัญหาในชั่วโมงเร่งด่วนของวันทำงาน

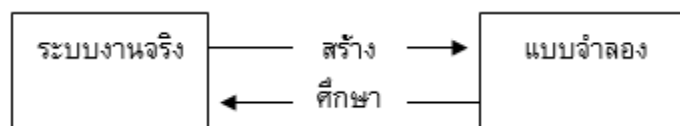
## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้นำเสนอทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัยรวมไปถึงศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.1 แนวคิดและทฤษฎีแบบจำลอง

การจำลอง (Simulation) เป็นวิธีการหาคำตอบที่แพร่หลายมากที่สุดวิธีหนึ่งในปัจจุบัน เนื่องจากเทคนิคการจำลองสถานการณ์มีความยืดหยุ่นสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับกับเทคนิคในการหาคำตอบอื่น ๆ [1]

การจำลองระบบ หมายถึง กระบวนการออกแบบตัวแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริงแล้วทำการทดลองใช้ตัวแบบจำลองนั้น เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้ โดยมีความสัมพันธ์กันระหว่างระบบงานจริงกับแบบจำลอง [2] ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การทดลองด้วยการจำลอง [2]

### 2.2 แนวคิดและพฤติกรรมแบบจำลอง

การเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าเป็นพฤติกรรมที่อยู่ภายใต้แรงกระทำรอบข้าง (Social Force) โดยที่แรงกระทำรอบข้างเกี่ยวข้องกับควบคุมพฤติกรรมเดินของคนเดินเท้าซึ่งไม่สามารถคาดเดา

ได้มีลักษณะเป็นปัจเจกต่อกันหรืออิสระต่อกัน คนเดินเท้าในระบบต่างมีอิทธิพลต่อกัน และปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณา โดยแรงกระทำรอบข้างนั้นประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ซึ่งเป็นแรงอันเนื่องมาจากปัจจัยแวดล้อมของคนเดินเท้า ณ ขณะนั้น เช่น ระยะห่างกับคนรอบข้าง ระยะห่างระหว่างอุปสรรคสิ่งกีดขวาง หรือแรงดึงดูดจากคนรอบข้างในระบบ รวมไปถึงเป้าหมายที่ต้องการเดินทางคนของเดินเท้าด้วย ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรมการเดินทางของคนเดินเท้านั้นประกอบด้วย ความเร็วของคนเดินเท้า (Velocity) แรงกระทำรอบข้าง (Social Force) เวลาผ่อนคลาย (Relaxation Time) ผลจากการดึงดูด (Attraction Effect) เป็นต้น [3]

สำหรับสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองของแรงกระทำรอบข้าง สามารถกล่าวได้ว่า เมื่อคนเดินเท้ามีความต้องการเดินทางไปยังเป้าหมาย โดยเดินทางจากตำแหน่ง  $\vec{r}_\alpha^k(t)$  ไปยังตำแหน่ง  $\vec{r}_\alpha^k$  และ  $\vec{e}_\alpha(t)$  คือ ทิศทางการเดินของคนเดินเท้า

$$\vec{e}_\alpha(t) := \frac{\vec{r}_\alpha^k - \vec{r}_\alpha(t)}{\|\vec{r}_\alpha^k - \vec{r}_\alpha(t)\|} \quad (1)$$

ตามสมการไม่คำนึงถึงอุปสรรคและสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ถัดมาให้  $\vec{v}_\alpha(t)$  เป็นความเร็วจริงของคนเดินเท้า ณ เวลาใด ๆ  $\vec{v}_\alpha^0(t) := \vec{v}_\alpha^0 \vec{e}_\alpha$  ทำให้ได้ความเร่งอันเนื่องมาจากความต้องการของคนเดินเท้าในรูปดังนี้

$$\vec{F}_\alpha^0(\vec{v}_\alpha, \vec{v}_\alpha^0 \vec{e}_\alpha) := \frac{\vec{r}_\alpha^k - \vec{r}_\alpha(t)}{\|\vec{r}_\alpha^k - \vec{r}_\alpha(t)\|} \quad (2)$$

กรณีถัดไปการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าอื่น โดยปัจจัยแรกที่พิจารณา คือ การรักษาระยะห่างระหว่างคนรอบข้าง ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของคนเดินเท้าและความเร็วที่ต้องการของคนเดินเท้า โดยทั่วไปคนเดินเท้าจะรู้สึกอึดอัด เมื่อมีการเข้าใกล้บุคคลอื่นมากเกินไป ทำให้เกิดผลลัพธ์เป็นการผลักกันของคนเดินเท้า  $\beta$  ซึ่งสามารถแสดงออกมาในรูปของปริมาณเชิงเวกเตอร์

$$\vec{F}_{\alpha\beta}(\vec{r}_{\alpha\beta}) := -\nabla_{\vec{r}_{\alpha\beta}} \vec{V}_{\alpha\beta}[b(\vec{r}_{\alpha\beta})] \quad (3)$$

โดยอนุมาณศักย์การผลัก  $V_{\alpha\beta}(b)$  เป็นฟังก์ชันที่มีการลดลงทางเดียว (Monotonic Decreasing Function) ของแกนโทของวงรี  $b$  กับเส้นสมคัยซึ่งเป็นลักษณะของวงรีมีทิศทางไปสู่ทิศทางของการเคลื่อนที่เงื่อนไขที่ทำให้คนเดินเท้าต้องการที่ว่างสำหรับก้าวต่อไป

$$2b = \sqrt{(\|\vec{r}_{\alpha\beta}\|) + \|\vec{r}_{\alpha\beta} - v_\beta \Delta t \vec{e}_\beta\|^2 - (v_\beta \Delta t)^2} \quad (4)$$

โดย  $\vec{r}_{\alpha\beta} := \vec{r}_\alpha - \vec{r}_\beta, \vec{S}_\beta = V_\beta \Delta t$  โดย  $S_\beta$  โดยเป็นความยาวของระยะก้าวของคนเดินเท้า ถัดมาเป็นปัจจัยจากการรักษาระยะจากขอบเขตของสิ่งกีดขวางต่าง ๆ อาทิเช่น สิ่งปลูกสร้าง กำแพง ถนน อุปสรรค เป็นต้น คนเดินเท้ามักรู้สึกอึดอัดและไม่สะดวกสบายเมื่ออยู่ใกล้สิ่งกีดขวาง มากเกินไป รวมไปถึงการหลบสิ่งกีดขวางเพื่อหลีกเลี่ยงการบาดเจ็บ เนื่องจากการชนอุปสรรค เช่น การเดินชนผนัง การเดินสะดุดสิ่งกีดขวางที่มองไม่เห็น เป็นต้น กำหนดให้ขอบเขต B สร้างผลการ ผลักต่อคนเดินเท้า โดยพฤติกรรมดังกล่าวเป็นไปตามสมการดังนี้

$$\vec{F}_{\alpha\beta}(\vec{r}_{\alpha\beta}) := -\nabla_{\vec{r}_{\alpha\beta}} \vec{U}_{\alpha\beta}(\|\vec{r}_{\alpha\beta}\|) \quad (5)$$

กำหนดให้  $\vec{U}_{\alpha\beta}(\|\vec{r}_{\alpha\beta}\|) \vec{r}_{\alpha\beta} := \vec{r}_\alpha - \vec{r}_\beta^\alpha$  เป็นศักย์การลดทางเดียว  $\vec{r}_\beta^\alpha$  แสดงถึงตำแหน่ง ของส่วนขอบเขตของสิ่งกีดขวางที่ใกล้คนเดินเท้ามากที่สุด คนเดินเท้าในบางครั้งถึงจุดโดย บุคคลที่ตนรู้จักหรือวัตถุที่สนใจ อาทิเช่น ญาติ ป้าย เป็นต้น ผลของการดึงดูด  $\vec{f}_{ai}$  ณ จุด  $\vec{r}_i$  ในการ จำลองด้วยแรงดึงดูด กำหนดให้  $\vec{W}_{ai}(\|\vec{r}_{ai}\|, t)$  เป็นศักย์เพิ่มขึ้นทางเดียว

$$\vec{f}_{ai}(\|\vec{r}_{ai}\|, t) := \nabla_{\vec{r}_{ai}} W_{ai}(\|\vec{r}_{ai}\|, t) \quad (6)$$

กำหนดให้  $\vec{r}_{ai} := \vec{r}_\alpha - \vec{r}_i$  โดยปกติแล้วการดึงดูดมักน้อยลงเมื่อเวลามากขึ้น อย่างไรก็ตาม สมการข้างต้นผลการดึงดูดและผลการผลัก สามารถหาได้ก็ต่อเมื่อทราบทิศทางของความต้องการ เคลื่อนที่ของคนเดินเท้าเท่านั้น  $\vec{e}_\alpha(t)$  ในการขับเคลื่อนพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าจะมี การขับเคลื่อนอย่างอ่อน (Weaker Influence, C) โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 เพื่อที่จะหาผลอัน เนื่องมาจากการรับรู้ของคนเดินเท้า จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงมุมประสิทธิผลในการมองเห็นของคน เดินเท้า (Effect Angle of Sight,  $2\delta$ ) นำข้อจำกัดมาพิจารณาในรูปของน้ำหนักที่ขึ้นกับทิศทาง (Direction Dependent Weights)

$$\omega(\vec{e}, \vec{f}) := \begin{cases} 1 & \text{if } \vec{e} \cdot \vec{f} \geq \|\vec{f}\| \cos \delta \\ C & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

นำมาสู่ข้อสรุปของผลกระทบของผลการดึงดูด (Attractive Effect) และผลจากการผลัก (Repulsive Effect) ในรูปของสมการดังนี้

$$\vec{F}_{\alpha\beta}^0(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_\beta) := \omega(\vec{e}_\alpha, -\vec{f}_{\alpha\beta})\vec{f}_{\alpha\beta}(\vec{r}_\alpha, -\vec{r}_\beta) \quad (8)$$

$$\vec{F}_{\alpha\beta}^0(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_i, t) := \omega(\vec{e}_\alpha, -\vec{f}_{\alpha i})\vec{f}_{\alpha\beta}(\vec{r}_\alpha, -\vec{r}_i, t) \quad (9)$$

เราสามารถสร้างสมการเพื่ออธิบายพฤติกรรมของคนเดินเท้า อันเนื่องมาจากการขับเคลื่อนจากปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นจึงสามารถอนุมานผลที่เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นผลของการผลักกัน (Repulsive Effect) ผลของการดึงดูด (Attraction Effect) ความต้องการในการเดินทาง และอิทธิพลอื่นเนื่องมาจากสิ่งกีดขวาง ทำให้ได้สมการที่ใช้อธิบายพฤติกรรมคนเดินเท้าดังนี้

$$\begin{aligned} \vec{F}_\alpha(t) := & \vec{F}_\alpha^0(\vec{v}_\alpha, -\vec{v}_\alpha^0\vec{e}_\alpha) + \sum i \vec{F}_\alpha^0(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_i) + \\ & \sum \beta \vec{F}_{\alpha\beta}^0(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_\beta, t) + \sum B \vec{F}_\alpha^0(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_B, t) \end{aligned} \quad (10)$$

แรงกระทำรอบข้างถูกนิยามด้วย

$$\frac{d\vec{\omega}_\alpha}{dt} = \vec{v}_\alpha(t) + fluctuations \quad (11)$$

พจน์ Fluctuations ถูกบวกเข้าแรงกระทำรอบข้าง เนื่องจากมีพฤติกรรมอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรสุ่ม (Random Variables) อาทิเช่น ทิศทางการหลบสิ่งกีดขวางของคนเดินเท้า อีกทางหนึ่ง Fluctuation เป็นความแปรปรวนของกฎของการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า และ  $\vec{\omega}_\alpha(t)$  คือ ความเร็วปรารถนา ซึ่งมีพฤติกรรมเป็นพลวัต (Dynamic) โดยมีค่าความเร็วสูงสุด  $v_\alpha^{max}$

$$\frac{d\vec{r}_\alpha}{dt} = \vec{v}_\alpha(t) := \vec{\omega}_\alpha(t) g \frac{v_\alpha^{max}}{\|\vec{\omega}_\alpha\|} \quad (12)$$

$$g \frac{v_\alpha^{max}}{\|\vec{\omega}_\alpha\|} := \begin{cases} 1, & \text{if } \|\vec{\omega}_\alpha\| \leq v_\alpha^{max} \\ \frac{v_\alpha^{max}}{\|\vec{\omega}_\alpha\|}, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม PTV Viswalk ที่พื้นฐานของโปรแกรม ได้ถูกออกแบบและพัฒนาตามหลักแนวคิดพฤติกรรมเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า ตามแบบจำลองของ Helbing และ Molnar [3] ซึ่งกล่าวคือ การเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าเป็นพฤติกรรมที่อยู่ภายใต้แรงกระทำรอบข้าง (Social Force) โดยที่แรงกระทำรอบข้างเกี่ยวข้องกับควบคุมพฤติกรรม

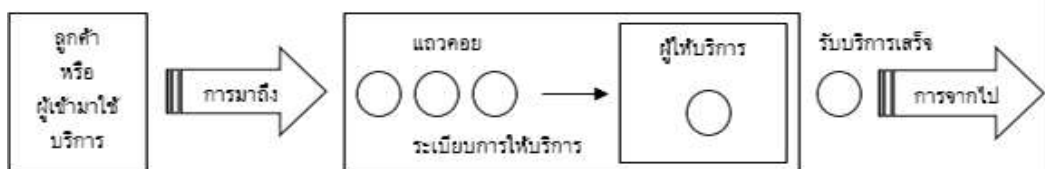
เดินของคนเดินเท้าซึ่งไม่สามารถคาดเดาได้ กล่าวอีกนัย คือ มีลักษณะเป็นปัจเจกต่อกันหรืออิสระต่อกัน ต่างมีอิทธิพลต่อกัน และปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณา โดยแรงกระทำรอบข้างนั้นประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ ซึ่งเป็นแรงอันเนื่องมาจากปัจจัยแวดล้อมของคนเดินเท้า ณ ขณะนั้น ดังสมการที่ (1)-(3)

### 2.3 แนวคิดและทฤษฎีแถวคอย

การเกิดคิว (Queuing) หรือแถวคอย (Waiting Lines) เป็นสิ่งที่พบเห็นได้เสมอในระบบงานต่าง ๆ และในชีวิตประจำวัน เช่น ต่อแถวเพื่อซื้อบัตรชมภาพยนตร์ การทำธุรกรรมทางด้านการเงินกับธนาคาร เป็นต้น ซึ่งล้วนเป็นสิ่งที่ทุกคนมีความเคยชินและตอบรับสภาพการรอในแถวคอยเสมอ ถึงแม้ว่าจะมีความไม่สะดวกเกิดขึ้นสำหรับการรอคอยที่ใช้เวลานาน [4]

ทฤษฎีแถวคอย (Queuing Theory) เป็นการศึกษาการรอคอยต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหรือระบบงานที่สนใจโดยดำเนินการสร้างตัวแบบแถวคอยที่เหมาะสมเป็นตัวแทนของระบบแถวคอยต่าง ๆ ที่มีความเป็นไปได้ โดยที่สูตรที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพในแต่ละตัวแบบจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบของแถวคอยที่เหมาะสมที่สุดภายใต้สถานการณ์นั้น ๆ ซึ่งผู้คิดค้นทฤษฎีแถวคอย คือ นักคณิตศาสตร์ ชาวเดนมาร์ก ชื่อว่า เอ.เค.เออร์แลง (A.K.Erlang)

กระบวนการรอคอยจะประกอบด้วยเหตุการณ์หลาย ๆ อย่างรวมกัน เช่น การมาถึง (Arrivals) ของผู้เข้ามาใช้บริการ การเข้าแถวเพื่อรอรับบริการ การเข้ารับบริการและการจากไป โดยที่กระบวนการจะเริ่มต้นจากการที่มีผู้เข้ามาใช้บริการ (Call Population) หรือที่เรียกว่า “ลูกค้า” เข้ามาในระบบแถวคอยเพื่อมารับบริการ ซึ่งถ้าหน่วยให้บริการ (Service Mechanism) ว่าง ผู้ที่มาขอรับบริการก็จะได้รับบริการทันทีจนเสร็จแล้วจึงออกไปจากระบบแถวคอย แต่ถ้าหน่วยให้บริการกำลังให้บริการลูกค้าคนอื่นอยู่ ผู้เข้ามาใช้บริการที่เข้ามาใหม่ก็ต้องเข้าแถวคอย (Queue) เพื่อรอรับบริการตามลำดับ สำหรับพวกที่อยู่ในแถวคอยจะได้รับบริการตามกฎระเบียบของการให้บริการแถวคอย (Queue Discipline) นั้น ๆ [5] ซึ่งระบบแถวคอยโดยทั่ว ๆ ไปจะประกอบด้วยประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ ลูกค้าหรือผู้เข้ามาใช้บริการ แถวคอย หน่วยให้บริการหรือผู้ให้บริการ เมื่อนำปัจจัยทั้ง 3 ส่วนมารวมกัน สามารถเขียนเป็นโครงสร้างของระบบแถวคอยได้ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างพื้นฐานระบบแถวคอย [5]

1) ลูกค้าหรือผู้เข้ามาใช้บริการ ลักษณะสำคัญที่เกี่ยวข้องกับลูกค้า คือ จำนวนประชากร และลักษณะการเข้ามารับบริการ

สำหรับงานวิจัยนี้จำนวนประชากรเป็นแบบมากรายหรือประชากรไม่จำกัด (Infinite Population) เนื่องจากสถานีรถไฟฟ้ามหานครที่เอสเซพานตากสิน ผู้เข้ามาใช้บริการสามารถเข้ามาใช้บริการได้ตลอดเวลาเปิด-ปิดการให้บริการ และลักษณะเข้ามารับบริการจะเป็นแบบสุ่ม (Random) เนื่องจากการเข้ามารับบริการของผู้ใช้บริการมีลักษณะที่ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการเดินทางของผู้เข้ามาใช้บริการแต่ละบุคคล

2) แถวคอย ลักษณะสำคัญที่เกี่ยวข้องกับแถวคอย คือ ความยาวของแถวคอย และรูปแบบการจัดระบบแถวคอย

สำหรับงานวิจัยนี้ความยาวของแถวคอยมีลักษณะแบบมากรายหรือไม่จำกัด (Infinite Queue Length) เนื่องจากผู้เข้ามาใช้บริการที่ต้องการเข้ามารับบริการนั้นสามารถเข้าสู่ระบบบริการได้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาเปิดการให้บริการ

3) หน่วยให้บริการ ลักษณะสำคัญเกี่ยวกับหน่วยให้บริการ ได้แก่ ระเบียบการให้บริการและลักษณะการให้บริการ

สำหรับงานวิจัยนี้มีลักษณะระเบียบการให้บริการ (Service Discipline) เป็นแบบมาก่อนได้รับบริการก่อน (First Come First Served: FCFS หรือ First In First Out: FIFO) โดยที่เมื่อผู้เข้ามาใช้บริการมีบัตรโดยสารแล้วจะสามารถผ่านประตูอัตโนมัติได้ก่อน สำหรับผู้เข้ามาใช้บริการที่ยังไม่มีบัตรโดยสารจำเป็นที่จะต้องรับบริการผ่านหน่วยให้บริการบนสถานีก่อนตามลำดับ จึงจะสามารถผ่านประตูอัตโนมัติได้ ซึ่งถือว่าเข้ามาทีหลังผู้ที่ไม่มีบัตรอยู่แล้ว และลักษณะการให้บริการผู้เป็นแบบสุ่ม (Random) เนื่องจากการให้บริการในแต่ละหน่วยให้บริการจะใช้เวลาไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับความชำนาญของพนักงาน และประสิทธิภาพของเครื่องจำหน่ายตั๋วโดยสารอัตโนมัติ รวมถึงลักษณะของผู้เข้ามาใช้บริการแต่ละคนที่มีความเข้าใจในระบบการให้บริการของแต่ละหน่วยให้บริการด้วยเช่นกัน

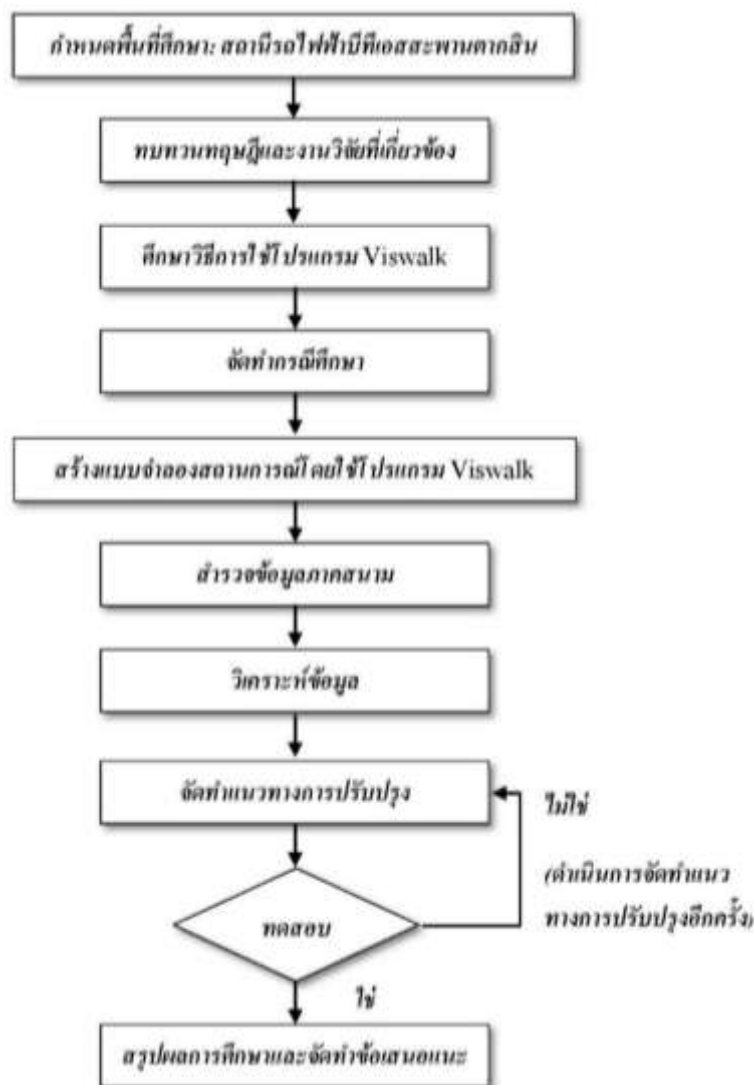
### 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม PTV Viswalk สำหรับการศึกษาาระบบแถวคอย ณ จุดให้บริการบนสถานีรถไฟฟ้ามหานครที่เอสเซพานตากสิน มีวิธีดำเนินงานวิจัย รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 3 และลำดับขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

### 3.1 จัดเตรียมข้อมูล

#### 1) การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

ผู้วิจัยทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายตั๋วและแลกเหรียญ เครื่องจำหน่ายตั๋วอัตโนมัติบนสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส ด้วยโปรแกรม PTV Viswalk โดยกำหนดพื้นที่กรณีศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้ ณ สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสสะพานตากสิน ในช่วงวันทำงาน (วันจันทร์-ศุกร์) ในช่วงเวลา 18.00-19.00 น. จากนั้นทำการศึกษากการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม PTV Viswalk เพื่อทราบถึงข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของโปรแกรม รวมถึงวิธีการเข้าพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลภาคสนาม



รูปที่ 3 ลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

## 2) ทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยทำการทบทวนแนวคิดแบบจำลอง ทฤษฎีระบบแถวคอย และทฤษฎีการจำลองที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของคนเดินเท้าภายใต้แรงทางสังคม (Social Force Model) เพื่อทำวิเคราะห์พฤติกรรมและการเข้าใช้บริการ ณ จุดให้บริการบนสถานี รวมถึงข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

## 3) การสร้างแบบจำลองสถานการณ์

ผู้วิจัยใช้โปรแกรม PTV Viswalk สำหรับการสร้างแบบจำลองสถานการณ์คนเดินเท้า โดยการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าเป็นพฤติกรรมที่อยู่ภายใต้แรงทางสังคม (Social Force) คนเดินเท้าภายในระบบต่างมีอิทธิพลต่อกัน จากแรงทางด้านสังคม (Social Force) แรงทางด้านจิตวิทยา (Psychological Force) และแรงทางด้านกายภาพ (Physical force) รวมกันเป็นพลังงานรวม (Total Force) เรียกว่า แบบจำลองทางสังคม (Social Force Model) ซึ่งเป็นแนวคิดของ Prof.Dr.Dirk Helbing และด้วยความสามารถของโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง จึงง่ายต่อการจำลองและการวิเคราะห์คนเดินในสถานการณ์ต่าง ๆ

ทั้งนี้ โปรแกรม PTV Viswalk ยังสามารถจำลองสถานการณ์ที่มีคนเดินเท้า และยานพาหนะร่วมกันในระบบได้อีกด้วย

## 3.2 พัฒนาแบบจำลอง

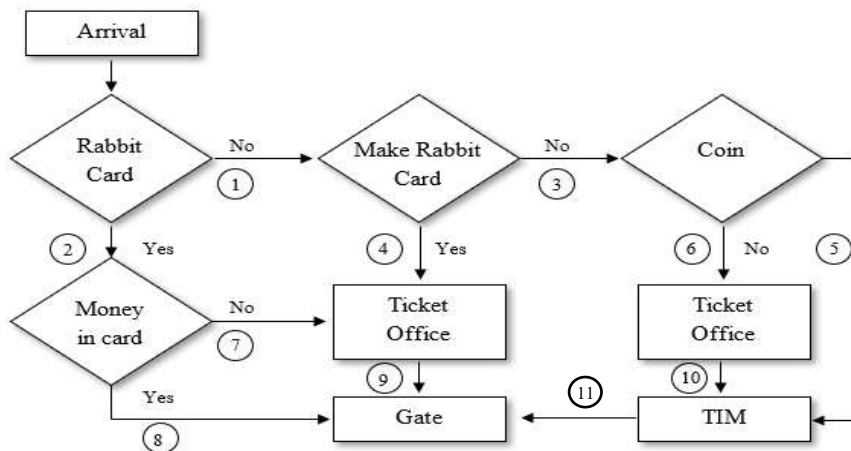
### 1) ตัวแบบจำลอง

การพัฒนาแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ถึงสภาพปัญหาของระบบแถวคอย ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองจึงมีความสำคัญ ตัวแบบจำลองจะต้องสามารถวัดผลได้จริง เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ผลได้

การสร้างแบบจำลองจึงมีหลักพื้นฐานมาจากแบบจำลองทางความคิด (Conceptual Model) ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาแบบจำลอง เนื่องจากจะแสดงให้เห็นถึงกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในแบบจำลองกับสภาพสถานการณ์จริง รวมไปถึงปฏิสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่าง ๆ ในระบบ

### 2) การสอบเทียบแบบจำลอง

การสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) เป็นกระบวนการที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้ในการสร้างความมั่นใจว่าแบบจำลองที่ได้สร้างมานั้นมีความถูกต้องและสอดคล้องกับสภาพสถานการณ์จริงสามารถนำไปใช้งานในกระบวนการทดลองเปลี่ยนแปลงปรับปรุงต่าง ๆ ได้ สำหรับแบบจำลองสถานการณ์ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ความยาวแถวคอยเฉลี่ยของ ณ จุดให้บริการบนสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสสะพานตามสิน เป็นค่าในการสอบเทียบ



รูปที่ 4 แบบจำลองทางความคิดการเข้าใช้บริการบนสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสสะพานตากสิน

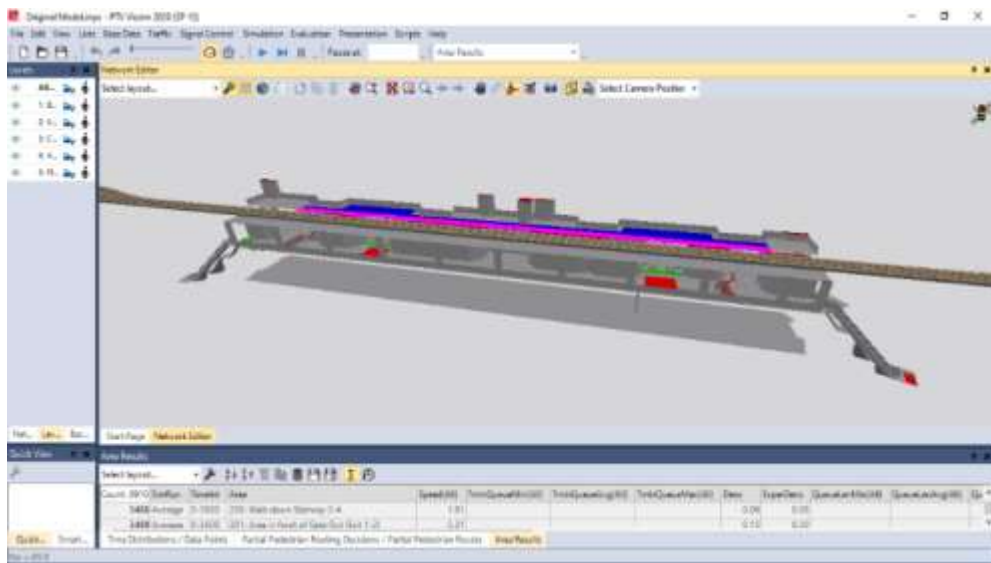
### 3.3 วิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยทำการศึกษาในช่วงโมงเร่งด่วนของวันทำงาน (วันจันทร์-ศุกร์) ช่วงเวลา 18.00-19.00 น. การวิเคราะห์ผลลัพธ์จากแบบจำลอง ผู้วิจัยใช้วิธีการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการให้บริการในปัจจุบัน และรูปแบบหลังจากได้รับการปรับปรุง ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบทางเลือกการปรับปรุงไว้ 2 รูปแบบ คือ

1) แบบจำลองรูปแบบที่ 1 ทำการเพิ่มจุดให้บริการห้องจำหน่ายตั๋วโดยสารและแลกเหรียญจำนวน 1 ห้อง และเพิ่มตู้จำหน่ายตั๋วอัตโนมัติชนิดรับธนบัตร (TVM) จำนวน 2 เครื่อง ผังทางเข้าและออก 1-2 และทางเข้าและออก 3-4 ซึ่งผังแสดงตำแหน่ง ณ จุดให้บริการบนสถานีฯ รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 7

2) แบบจำลองรูปแบบที่ 2 ทำการปรับเปลี่ยนจุดให้บริการจากเดิมตู้จำหน่ายตั๋วอัตโนมัติชนิดไม่รับธนบัตร (TIM) จำนวน 7 เครื่อง เป็นเครื่องจำหน่ายตั๋วอัตโนมัติชนิดรับธนบัตร (TVM) ทั้ง 2 ผัง ทางเข้าและออก 1-2 และทางเข้าและออก 3-4 ซึ่งผังแสดงตำแหน่ง ณ จุดให้บริการบนสถานีฯ รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 8

โดยที่ตัวแบบจำลองสถานการณ์ ผู้วิจัยได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ความเร็วในการเดินของคน โดยอ้างอิงงานวิจัยของ Tanaboriboon และ Guyano [6] ที่ได้ทำการศึกษาความเร็วของคนเดินในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และทำการวัดผลโดยใช้ตัวชี้วัด คือ ผลรวมของเวลาในแถวคอยเฉลี่ย และผลรวมความยาวของแถวคอยเฉลี่ย ของทั้งระบบจุดบริการ จากนั้นจึงทำการสรุปผลเพื่อหาแบบจำลองที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดต่อไป



รูปที่ 5 ตัวอย่างตัวแบบจำลองการศึกษาแถวคอยบนสถานีรถไฟฟ้ามหานครสายสีแดง  
ตากสิน

ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการแสดงรายละเอียดตำแหน่ง ณ จุดให้บริการต่าง ๆ บนสถานีรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล ของแต่ละรูปแบบจำลองสถานการณ์ ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 6-8

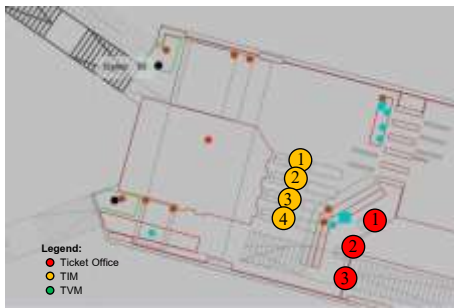


(ก) ฟังทางเข้าและออก 1-2



(ข) ฟังทางเข้าและออก 3-4

**รูปที่ 6** ผังแสดงตำแหน่ง ณ จุดให้บริการต่าง ๆ บนสถานีฯ ของแบบจำลองรูปแบบปัจจุบัน



(ก) แผนผังทางเข้าและออก 1-2



(ข) แผนผังทางเข้าและออก 3-4

รูปที่ 7 แผนผังตำแหน่ง ณ จุดให้บริการต่าง ๆ บนสถานีฯ ของแบบจำลองรูปแบบที่ 1



(ก) แผนผังทางเข้าและออก 1-2



(ข) แผนผังทางเข้าและออก 3-4

รูปที่ 8 แผนผังตำแหน่ง ณ จุดให้บริการต่าง ๆ บนสถานีฯ ของแบบจำลองรูปแบบที่ 2

#### 4. ผลการวิจัย

หลังจากได้ดำเนินการวิเคราะห์ผลจากแบบจำลองสถานการณ์รูปแบบปัจจุบัน รูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ผลการวิเคราะห์ แสดงดังต่อไปนี้

##### 4.1 การสอบเทียบแบบจำลอง

จากการรันผลด้วยโปรแกรมสร้างแบบจำลองสถานการณ์รูปแบบปัจจุบัน จำนวน 30 ครั้ง และนำข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากภาคสนาม โดยผู้วิจัยได้ใช้ความยาวแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการห้องจำหน่ายตั๋วและแลกเหรียญ และเครื่องจำหน่ายตั๋วอัตโนมัติชนิดไม่รับธนบัตร (TIM) เป็นค่าในการสอบเทียบแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 1

## ตารางที่ 1 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง

| ชนิดของข้อมูล               | ความยาวแถวคอยเฉลี่ย (คน) |               |
|-----------------------------|--------------------------|---------------|
|                             | TIM                      | Ticket Office |
| ภาคสนาม                     | 0.82                     | 2.41          |
| แบบจำลอง                    | 0.94                     | 3.09          |
| ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ) | 14.63                    | 28.22         |

ผลจากการสอบเทียบแบบจำลอง สามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองมีความใกล้เคียงกับระบบจริง เนื่องจากมีค่าคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ไม่เกินร้อยละ 50 โดยมีค่าความยาวแถวคอยเฉลี่ยในช่วงเวลาทดสอบโปรแกรมของแถวคอย ณ จุดให้บริการห้องจำหน่ายตั๋วโดยสาร และแลกเหรียญ และเครื่องจำหน่ายตั๋วอัตโนมัติชนิดไม่รับธนบัตร (TIM) คิดเป็นร้อยละ 28.22 และ 14.63 ตามลำดับ

## 4.2 เวลาในแถวคอย

ผลจากการวิเคราะห์และรันผลจากแบบจำลองสถานการณ์รูปแบบปัจจุบัน และได้เปรียบเทียบกับรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 โดยมีผลรวมเวลาในแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการต่าง ๆ บนสถานี ดังแสดงในตารางที่ 2 – ตารางที่ 4

## ตารางที่ 2 เวลาในแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการต่าง ๆ บนสถานีฯ ของแบบจำลองรูปแบบปัจจุบัน

| เวลาในแถวคอยเฉลี่ย (วินาที)        |       |                                    |       |
|------------------------------------|-------|------------------------------------|-------|
| จุดให้บริการ ฝั่งทางเข้าและออก 1-2 |       | จุดให้บริการ ฝั่งทางเข้าและออก 3-4 |       |
| TIM 1                              | 23.48 | TIM 1                              | 39.21 |
| TIM 2                              | 22.71 | TIM 2                              | 41.40 |
| TIM 3                              | 22.88 | TIM 3                              | 37.16 |
| TIM 4                              | 23.19 | Ticket Office 1                    | 60.95 |
| Ticket Office 1                    | 55.20 | Ticket Office 2                    | 55.76 |
| Ticket Office 2                    | 59.58 |                                    |       |
| รวมเวลาในแถวคอยเฉลี่ย (วินาที)     |       |                                    | 40.14 |

จากตารางที่ 2 พบว่า เวลาในแถวคอย ณ จุดให้บริการห้องจำหน่ายตั๋วโดยสารและแลกเหรียญ (Ticket Office) ทั้ง 2 ฝ่าย ทางเข้าและออก มีเวลาในแถวคอยเฉลี่ยสูงสุด โดยที่ ฝ่ายทางเข้าและออก 1-2 มีค่าเท่ากับ 59.58 วินาที และฝ่ายทางเข้าและออก 3-4 มีค่าเท่ากับ 60.95 วินาที ซึ่งหากรวมเวลาในแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการต่าง ๆ บนสถานีฯ ของแบบจำลองรูปแบบปัจจุบัน มีค่าเท่ากับ 40.14 วินาที

**ตารางที่ 3 เวลาในแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการต่าง ๆ บนสถานีฯ ของแบบจำลองรูปแบบที่ 1**

| เวลาในแถวคอยเฉลี่ย (วินาที)        |       |                                    |              |
|------------------------------------|-------|------------------------------------|--------------|
| จุดให้บริการ ฝ่ายทางเข้าและออก 1-2 |       | จุดให้บริการ ฝ่ายทางเข้าและออก 3-4 |              |
| TIM 1                              | 24.44 | TIM 1                              | 23.98        |
| TIM 2                              | 25.45 | TIM 2                              | 23.26        |
| TIM 3                              | 23.31 | TIM 3                              | 23.50        |
| TIM 4                              | 23.43 | TVM 1                              | 52.85        |
| TVM 1                              | 30.60 | TVM 2                              | 46.06        |
| TVM 2                              | 30.96 | Ticket Office 1                    | 16.84        |
| Ticket Office 1                    | 19.93 | Ticket Office 2                    | 16.57        |
| Ticket Office 2                    | 18.83 | Ticket Office 3                    | 16.25        |
| Ticket Office 3                    | 19.58 |                                    |              |
| รวมเวลาในแถวคอยเฉลี่ย (วินาที)     |       |                                    | <b>25.64</b> |

จากตารางที่ 3 พบว่า เวลาในแถวคอย ณ จุดให้บริการเครื่องจำหน่ายตั๋วโดยสารอัตโนมัติชนิดรับธนบัตร (TVM) ทั้ง 2 ฝ่าย ทางเข้าและออก มีเวลาในแถวคอยเฉลี่ยสูงสุด โดยที่ ฝ่ายทางเข้าและออก 1-2 มีค่าเท่ากับ 30.96 วินาที และฝ่ายทางเข้าและออก 3-4 มีค่าเท่ากับ 52.85 วินาที ซึ่งหากรวมเวลาในแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดบริการต่าง ๆ บนสถานีฯ ของแบบจำลองรูปแบบปัจจุบัน มีค่าเท่ากับ 25.64 วินาที

**ตารางที่ 4 เวลาในแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการต่าง ๆ บนสถานีฯ ของแบบจำลองรูปแบบที่ 2**

| เวลาในแถวคอยเฉลี่ย (วินาที)       |       |                                   |              |
|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|--------------|
| จุดให้บริการ ฟังทางเข้าและออก 1-2 |       | จุดบริการ ฟังให้ทางเข้าและออก 3-4 |              |
| TVM 1                             | 24.48 | TVM 1                             | 54.82        |
| TVM 2                             | 23.11 | TVM 2                             | 39.29        |
| TVM 3                             | 22.62 | TVM 3                             | 38.14        |
| TVM 4                             | 22.47 | Ticket Office 1                   | 18.41        |
| Ticket Office 1                   | 21.15 | Ticket Office 2                   | 17.31        |
| Ticket Office 2                   | 22.09 |                                   |              |
| รวมเวลาในแถวคอยเฉลี่ย (วินาที)    |       |                                   | <b>27.63</b> |

จากตารางที่ 4 พบว่า เวลาในแถวคอย ณ จุดให้บริการเครื่องจำหน่ายตั๋วโดยสารอัตโนมัติชนิดรับธนบัตร (TVM) ทั้ง 2 ฟัง ทางเข้าและออก มีเวลาในแถวคอยเฉลี่ยสูงสุด โดยที่ ฟังทางเข้าและออก 1-2 มีค่าเท่ากับ 24.48 วินาที และ ฟังทางเข้าและออก 3-4 มีค่าเท่ากับ 54.82 วินาที ซึ่งหากรวมเวลาในแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการต่าง ๆ บนสถานีฯ ของแบบจำลองรูปแบบปัจจุบัน มีค่าเท่ากับ 27.63 วินาที

อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการพิจารณาผลรวมเวลาในแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการบนสถานีฯ พบว่า รูปแบบจำลองสถานการณ์ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของจุดให้บริการบนสถานีฯ ได้แก่ แบบจำลองรูปแบบที่ 1 แบบจำลองรูปแบบที่ 2 และแบบจำลองรูปแบบปัจจุบัน โดยมีเวลาในแถวคอยเฉลี่ยน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 25.54, 27.63 และ 40.10 วินาที ตามลำดับ และเมื่อนำผลลัพธ์ของแบบจำลองรูปแบบที่ 1 เปรียบเทียบกับแบบจำลองรูปแบบปัจจุบัน พบว่า สามารถลดเวลาในแถวคอยเฉลี่ยได้ คิดเป็นร้อยละ 36.12

#### 4.3 ความยาวของแถวคอย

ผลจากการวิเคราะห์และรันผลจากแบบจำลองสถานการณ์รูปแบบปัจจุบัน และได้เปรียบเทียบกับรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 โดยมีผลรวมความยาวแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการต่าง ๆ บนสถานีฯ ดังแสดงในตารางที่ 5 - ตารางที่ 7

ตารางที่ 5 ความยาวของแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการต่าง ๆ บนสถานีฯ ของแบบจำลองรูปแบบปัจจุบัน

| ฝั่งทางเข้าและออก 1-2          |                             |                                         | ฝั่งทางเข้าและออก 3-4 |                             |                                         |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|
| จุดให้บริการ                   | ความยาวของแถวคอยเฉลี่ย (คน) | ความหนาแน่นเฉลี่ย (คน/ม. <sup>2</sup> ) | จุดให้บริการ          | ความยาวของแถวคอยเฉลี่ย (คน) | ความหนาแน่นเฉลี่ย (คน/ม. <sup>2</sup> ) |
| TIM 1                          | 0.36                        | 0.80                                    | TIM 1                 | 1.62                        | 4.32                                    |
| TIM 2                          | 0.35                        | 0.79                                    | TIM 2                 | 1.88                        | 4.68                                    |
| TIM 3                          | 0.35                        | 0.85                                    | TIM 3                 | 1.53                        | 4.23                                    |
| TIM 4                          | 0.44                        | 1.16                                    | Ticket Office 1       | 3.35                        | 4.29                                    |
| Ticket Office 1                | 2.88                        | 5.84                                    | Ticket Office 2       | 2.95                        | 4.10                                    |
| Ticket Office 2                | 3.17                        | 5.48                                    |                       |                             |                                         |
| รวมความยาวของแถวคอยเฉลี่ย (คน) |                             |                                         | 1.72                  |                             |                                         |

จากตารางที่ 5 พบว่า ความยาวของแถวคอย ณ จุดให้บริการห้องจำหน่ายตั๋วโดยสารและแลกเหรียญ (Ticket Office) ทั้ง 2 ฝั่ง ทางเข้าและออก มีความยาวของแถวคอยเฉลี่ยสูงสุด โดยที่ ฝั่งทางเข้าและออก 1-2 มีค่าเท่ากับ 3.17 คน และ ฝั่งทางเข้าและออก 3-4 มีค่าเท่ากับ 3.35 คน ซึ่งหากรวมความยาวของแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการต่าง ๆ บนสถานีฯ ของแบบจำลองรูปแบบปัจจุบัน มีค่าเท่ากับ 1.72 คน

ตารางที่ 6 ความยาวของแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการต่าง ๆ บนสถานีฯ ของแบบจำลองรูปแบบที่ 1

| ฝั่งทางเข้าและออก 1-2          |                             |                                         | ฝั่งทางเข้าและออก 3-4 |                             |                                         |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|
| จุดให้บริการ                   | ความยาวของแถวคอยเฉลี่ย (คน) | ความหนาแน่นเฉลี่ย (คน/ม. <sup>2</sup> ) | จุดให้บริการ          | ความยาวของแถวคอยเฉลี่ย (คน) | ความหนาแน่นเฉลี่ย (คน/ม. <sup>2</sup> ) |
| TIM 1                          | 0.35                        | 1.47                                    | TIM 1                 | 0.47                        | 2.43                                    |
| TIM 2                          | 0.20                        | 0.84                                    | TIM 2                 | 0.27                        | 1.40                                    |
| TIM 3                          | 0.21                        | 0.96                                    | TIM 3                 | 0.18                        | 0.93                                    |
| TIM 4                          | 0.31                        | 1.77                                    | TVM 1                 | 2.18                        | 5.12                                    |
| TVM 1                          | 0.74                        | 2.87                                    | TVM 2                 | 1.74                        | 4.44                                    |
| TVM 2                          | 0.82                        | 3.27                                    | Ticket Office 1       | 0.31                        | 1.34                                    |
| Ticket Office 1                | 0.26                        | 1.52                                    | Ticket Office 2       | 0.13                        | 0.60                                    |
| Ticket Office 2                | 0.35                        | 1.93                                    | Ticket Office 3       | 0.07                        | 0.32                                    |
| Ticket Office 3                | 0.43                        | 2.39                                    |                       |                             |                                         |
| รวมความยาวของแถวคอยเฉลี่ย (คน) |                             |                                         |                       | 0.53                        |                                         |

จากตารางที่ 6 พบว่า ความยาวของแถวคอย ณ จุดให้บริการเครื่องจำหน่ายตั๋วโดยสารอัตโนมัติชนิดรับธนบัตร (TVM) ทั้ง 2 ฝั่ง ทางเข้าและออก มีความยาวของแถวคอยเฉลี่ยสูงสุด โดยที่ ฝั่งทางเข้าและออก 1-2 มีค่าเท่ากับ 0.82 คน และ ฝั่งทางเข้าและออก 3-4 มีค่าเท่ากับ 2.18 คน ซึ่งหากรวมความยาวของแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการต่างๆ บนสถานีฯ ของแบบจำลองรูปแบบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.53 คน

ตารางที่ 7 ความยาวของแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการต่าง ๆ บนสถานีฯ ของแบบจำลองรูปแบบที่ 2

| ฝั่งทางเข้าและออก 1-2          |                             |                                         | ฝั่งทางเข้าและออก 3-4 |                             |                                         |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|
| จุดให้บริการ                   | ความยาวของแถวคอยเฉลี่ย (คน) | ความหนาแน่นเฉลี่ย (คน/ม. <sup>2</sup> ) | จุดให้บริการ          | ความยาวของแถวคอยเฉลี่ย (คน) | ความหนาแน่นเฉลี่ย (คน/ม. <sup>2</sup> ) |
| TVM 1                          | 0.52                        | 1.12                                    | TVM 1                 | 2.33                        | 5.02                                    |
| TVM 2                          | 0.40                        | 0.87                                    | TVM 2                 | 1.75                        | 4.43                                    |
| TVM 3                          | 0.41                        | 0.93                                    | TVM 3                 | 1.34                        | 4.14                                    |
| TVM 4                          | 0.49                        | 1.23                                    | Ticket Office 1       | 0.40                        | 1.65                                    |
| Ticket Office 1                | 0.51                        | 2.72                                    | Ticket Office 2       | 0.21                        | 0.89                                    |
| Ticket Office 2                | 0.66                        | 3.12                                    |                       |                             |                                         |
| รวมความยาวของแถวคอยเฉลี่ย (คน) |                             |                                         |                       | 0.82                        |                                         |

จากตารางที่ 7 พบว่า ความยาวของแถวคอย ณ จุดให้บริการห้องจำหน่ายตั๋วโดยสารและแลกเหรียญ (Ticket Office) ณ ฝั่งทางเข้าและออก 1-2 และเครื่องจำหน่ายตั๋วอัตโนมัติชนิดรับธนบัตร (TVM) ณ ฝั่งทางเข้าและออก 3-4 มีความยาวของแถวคอยเฉลี่ยสูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.66 และ 2.33 คน ตามลำดับ ซึ่งหากรวมความยาวของแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการต่าง ๆ บนสถานีฯ ของแบบจำลองรูปแบบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.82 คน

อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการพิจารณาผลรวมความยาวของแถวคอยเฉลี่ย ณ จุดให้บริการบนสถานีฯ พบว่า รูปแบบจำลองสถานการณ์ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของจุดให้บริการบนสถานีฯ ได้แก่ แบบจำลองรูปแบบที่ 2 แบบจำลองรูปแบบที่ 3 และแบบจำลองรูปแบบปัจจุบัน โดยมีความยาวของแถวคอยเฉลี่ยน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.53, 0.82 และ 1.72 คน ตามลำดับ และเมื่อนำผลลัพธ์ของแบบจำลองรูปแบบที่ 1 เปรียบเทียบกับแบบจำลองรูปแบบปัจจุบัน พบว่า สามารถลดความยาวของแถวคอยเฉลี่ย คิดเป็นร้อยละ 69.19

## 5. สรุปผลการวิจัย

จากผลลัพธ์ของแบบจำลองสถานการณ์ทั้ง 3 รูปแบบ (รวมรูปแบบปัจจุบัน) ผลจากการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ทางเลือกการปรับปรุงที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการปรับปรุงระบบแถวคอย ณ จุดให้บริการบนสถานีรถไฟไฟฟ้าบีทีเอสสะพานตากสิน คือ แบบจำลองรูปแบบที่ 1 ซึ่งมีรูปแบบการปรับปรุงระบบแถวคอยและเพิ่มประสิทธิภาพของจุดให้บริการ ด้วยการเพิ่มจุดให้บริการห้องจำหน่ายตั๋วและแลกเหรียญ จำนวน 1 ห้อง และเพิ่มตู้จำหน่ายตั๋วอัตโนมัติชนิดรับบัตร (TVM) จำนวน 2 เครื่อง ทั้ง 2 ฝั่ง ทางเข้าและออก 1-2 และ ทางเข้าและออก 3-4 โดยที่ทางเลือกการปรับปรุงดังกล่าว มีเวลาในแถวคอยเฉลี่ยน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 25.54 วินาที และความยาวของแถวคอยเฉลี่ยน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.53 คน เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองรูปแบบปัจจุบันสามารถกล่าวได้ว่า ด้วยข้อจำกัดของตัวสถานีที่มีพื้นที่บริเวณจุดให้บริการค่อนข้างจำกัด ผู้เข้ามาใช้บริการมีการกระจายตัวดีขึ้น และสามารถลดปัญหาความยาวของแถวคอยที่เกิดขวางเส้นทางการเดินได้ และยังลดความซับซ้อนของขั้นตอนการให้บริการลงอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาถึงจำนวนผู้เข้ามาใช้บริการในอนาคต ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 10-20 ของจำนวนผู้เข้ามาใช้บริการในปัจจุบัน ซึ่งมีผลต่อพฤติกรรมคนเดินเท้าและความยาวของแถวคอยที่เพิ่มขึ้น รวมถึงการตัดสินใจในการเลือกใช้เส้นทางเพื่อไปยังจุดหมายนั้นเปลี่ยน จำเป็นต้องพิจารณาเพิ่มเติมในประเด็นของพื้นที่รองรับ ณ จุดให้บริการร่วมด้วย ดังข้อจำกัดที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งมักมีปัญหาก็เกิดแถวคอย ณ จุดให้บริการและส่งผลกระทบต่อขวางเส้นทางการเดิน แต่หากอนาคตมีการปรับปรุงตัวสถานีเป็นแบบชานชาลา 2 ข้าง จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบแถวคอยดียิ่งขึ้น

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี “โครงการกระตุ้นงานวิจัย มจร. ในโอกาสครบรอบ 55 ปี” และยังได้รับการสนับสนุนทุนงานวิจัยจากภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (CE-KMUTT-6214)

## References

- [1] Warasak M. Simulation. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Publishing; 2007. (In Thai).
- [2] Kloamjit P, Thongsanit D. Basic simulation. 2<sup>nd</sup> ed. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Publishing; 2011. (In Thai).

- [3] Helbing D, Molnar P. Social force model for pedestrian dynamics. Physical Review E 1995;51:4282-6.
- [4] Jaruensiriwatin T. Queue simulation program [dissertation]. Nakhon Si Thammarat: Walailak University; 2002. (In Thai).
- [5] Warasak M. Operations research. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Publishing; 2009. (In Thai).
- [6] Tanaboriboon Y, Guyano JA. Analysis of pedestrian movements in bangkok. Transportation Research Record 1991;1294:52-6.

#### ประวัติผู้เขียนบทความ



**ปิยพัชร เพ็ชรจันทร์** นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140 Email: piyapat.petchan@mail.kmutt.ac.th, Engineer1150@gmail.com จบการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (เกียรตินิยมอันดับ 1) มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต



**อำพล การุณสุนทวงษ์** อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140 Email: ampol.kar@kmutt.ac.th, ampolk@gmail.com ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ผู้อำนวยการโครงการเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา จบการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา (เกียรตินิยมอันดับ 2) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, M.S. Transportation Engineering University of Texas at Austin และ Ph.D. Transportation Engineering, University of Texas at Austin. งานวิจัยที่สนใจ: Transportation Network Modeling, Logistics, Transportation Planning, Applied Optimization

#### Article History:

Received: October 1, 2020

Revised: November 19, 2020

Accepted: November 25, 2020