การพัฒนาแบบจำลองการอพยพผู้โดยสารในสถานการณ์ฉุกเฉิน กรณีศึกษา สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจตุจักร

DEVELOPMENT OF PASSENGER EMERGENCY EVACUATION MODEL: A CASE STUDY OF CHATUCHAK PARK MRT STATION

ภูวัต ศรีทาโส[1], รศ. ดร.อำพล การุณสุนทวงษ์[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จ.กรุงเทพมหานคร
*Corresponding author address: phuwat.srithaso731@mail.kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอพยพในสถานการณ์ฉุกเฉินของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจตุจักรโดยใช้การสร้างแบบจำลองการอพยพเพื่อหาความเป็นไปได้ในการลดเวลาการอพยพของระบบในตัวสถานี ใช้โปรแกรม PTV VISSIM โดยทำการสอบเทียบกับข้อมูลการสำรวจของทางสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจตุจักรเพื่อมาทำการสอบเทียบกับโมเดลที่สร้างขึ้นมาโดยอาศัยหลักการตรวจสอบแบบจำลองของ NIST เพื่อให้แบบจำลองมีความถูกต้องใกล้เคียงกับความจริงเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองหลักจากนั้นจึงสร้างแบบจำลองสถานการณ์ที่แตกต่างกัน3แบบโดยอาศัยแบบจำลองหลักนั้นในการสร้างแบบจำลองโดยจะมีสถานการณ์ที่จะจำลอง 3 แบบคือ 1. คนเดินไม่สามารถใช้บันไดเลื่อนในการอพยพได้ 2. คนเดินสามารถใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้นในการอพยพ 3. สามารถใช้บันไดเลื่อนในการอพยพได้โดยการกำหนดให้บันไดเลื่อนเป็นทิศขึ้นทั้งหมด หลังจากนั้นจะทำการจำลองเพื่อหาเวลาการอพยพของในแต่ละสถานการณ์มาเทียบกับมาตรฐานการอพยพของNFPAโดยเวลาอพยพของชั้นชานชาลาไปยังชั้นจำหน่ายตั๋วจะต้องไม่เกิน 4 นาที และเวลาอพยพจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยจะต้องไม่เกิน 6 นาที โดยปริมาณคนเดินในระบบนั้นจะจำลองปริมาณที่แตกต่างกันคือ 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณความจุสูงสุดของชั้นชานชาลาเพื่อค้นหาว่าปริมาณเท่าใดที่เหมาะสมในการอพยพให้เป็นไปตามมาตรฐานของ NFPA 130 พร้อมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอพยพในแต่ละแบบจำลองว่าแตกต่างกันอย่างไร

คำสำคัญ: *การอพยพ, แบบจำลอง, PTV VISSIM, NFPA 130*

Abstract

The objective of this study is about the emergency evacuation of the subways system in the Chatuchak Park MRT station by using evacuation simulation models to find the solution to reduce the evacuation time of the system of the Chatuchak Park MRT station by using a program called PTV VISSIM to creating a simulation model then use the NIST standard to help in the verified and calibrate model to make it more accurate to the real world to make that model become the reference model. Use the refence model to build the 3 scenarios of evacuation models which contain 1 pedestrian only use stair to evacuate2 pedestrian can use the upward direction elevators for evacuate 3 pedestrians can use all of elevator which change all the direction to upward for evacuate. In this project will use NFPA 130 standard to compare with the evacuation time result from the models which should not exceed 4 min in Platform level to concourse level and not exceed 6 min from platform level to safe area. The number of pedestrians in the system will be 25, 50, 75, and 100 percentage of the maximum capacity of the Platform level to find the proper amount of pedestrian in platform level can evacuate in time as follow to the NFPA 130 standard and compare the efficiency of evacuation for each model.

Keywords: *Evacuation, Models, PTV VISSIM, NFPA 130*

1. บทนำ

สืบเนื่องจากจำนวนประชากรที่ขยายตัวอย่างต่อเนื่องภายในตัวเมืองกรุงเทพมหานครนำมาซึ่งปัญหามากมายที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันโดยมีหนึ่งในปัญหาที่มีปัญหามากที่สุดคือการขยายตัวของจำนวนประชากรโดยจะนำมาซึ่งปัญหาคือการจราจรที่ติดขัดภายในตัวเมืองกรุงเทพมหานครซึ่งจากปัญหาดังกล่าวทางรัฐบาลได้มีการส่งเสริมให้ประชากรนั้นหันมาใช้บริการระบบการขนส่งสาธารณะเพื่อลดจำนวนการเดินทางด้วยรถส่วนตัวโดยหนึ่งในระบบขนส่งสาธารณะที่สะดวกและเป็นที่นิยมใช้มากที่สุดภายในตัวเมืองกรุงเทพมหานครก็คือระบบรถไฟฟ้าใต้ดินเนื่องมาจากความนิยมที่สูงของระบบรถไฟฟ้าใต้ดินทำให้ในหนึ่งวันเกิดเที่ยวการเดินทางมากมายมหาศาลโดยมีผลที่ตามมาคือความแออัดในตัวสถานี ซึ่งเมื่อกล่าวถึงความปลอดภัยแล้วจำนวนผู้ใช้งานที่มหาศาลขนาดนี้ในตัวระบบรถไฟฟ้าใต้ดินจะต้องมีมาตรการลองรับสถานการณ์ไม่คาดฝันต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อชีวิตหรือทรัพย์สินของผู้ใช้งานของทาง

สถานีรถไฟฟ้าดังนั้นเป็นสิ่งจำเป็นของแต่ละระบบการขนส่งรถไฟฟ้าใต้ดินคือต้องมีการออกแบบแผนการอพยพโดยแผนการอพยพที่มีประสิทธิภาพนั้นนอกจากจะรวดเร็วแล้วยังต้องมีความปลอดภัยอีกด้วยซึ่งผู้วิจัยเล็งเห็นถึงปัญหาดังกล่าวจึงหยิบยกมาทำการศึกษาโดยมุ่งเน้นไปที่สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจตุจักรซึ่งเป็นหนึ่งในสถานีที่มีความนิยมเป็นอย่างมากโดยมีเที่ยวการเดินทางหนึ่งวันมากกว่าหมื่นครั้งดังนั้นจุดมุ่งหมายของการศึกษานี้คือการสร้างแบบจำลองสถานการณ์การอพยพของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจตุจักรเพื่อค้นหาวิธีในการลดเวลาการอพยพออกจากสถานีให้ได้โดยการอาศัยวิธีการสอบเทียบจากโปรแกรมสร้างแบบจำลองชื่อว่า “PTV VISSIM” โดยเป็นโปรแกรมที่พัฒนามาจากประเทศเยอรมันซึ่งพัฒนาโดยบริษัท PTV Group โดยโปรแกรมที่บริษัทเน้นไปที่การสร้างแบบจำลองได้หลากหลายแบบโดยในการศึกษานี้ได้อ้างอิงการสอบเทียบระยะเวลาอพยพและอื่น ๆ จาก Verification and Validation of VISWALK for Building Evacuation Modelling โดย Johan Blomstrand Martén และ คณะ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์การอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย โดย ธนา น้อยเรือน ทั้งนี้ยังอ้างอิงตามมาตรฐาน NFPA 130 โดยการศึกษานี้จะมุ่งเน้นไปที่โปรแกรมมีจุดเด่นในการแสดงภาพพฤติกรรมของคนเดินในรูปแบบ 3 มิติโดยสามารถจำลองการไหลของคนเดินได้หลากหลายแบบซึ่งใช้หลักการของ Social Force Model (Helbing, 2001) ซึ่งคือการจำลองสิ่งกระตุ้นของคนเดินโดยการอาศัยหลักการคล้ายกับกลศาสตร์ของ NEWTON โดยในที่นี้ผลรวมแรงทั้งหมดจะขึ้นกับ แรงทางสังคม, แรงทางจิตวิทยา และ แรงทางกายภาพ โดยจะได้ผลลัพธ์มาเป็นตัวแปลกายภาพก็คือความเร่ง โดยความเร่งดังกล่าวเกิดจากความต้องการเดินเท้าของคนในระบบตั้งแต่จุดเริ่มต้นไปถึงปลายทางโดยรวมในการศึกษานี้จะมุ่งเน้นไปที่การจะสร้างแบบจำลองการอพยพโดยการที่จะสร้างแบบจำลองอพยพได้นั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลดังต่อไปนี้คือ ความเร็วเฉลี่ยคนเดินชาย-หญิง, จำนวนคนในสถานการณ์อพยพ, แบบแปลนโครงสร้างของตัวสถานี และเส้นทางในการอพยพอย่างไรก็ตามขึ้นชื่อว่าเป็นโมเดลแบบจำลองเป็นไปได้ยากที่จะเหมือนความจริง 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องมาจากปัจจัยหลาย ๆ อย่างดังนั้นการสร้างโมเดลจึงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบกับข้อมูลจริงเพื่อให้มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเพื่อให้โมเดลดังกล่าวสามารถยอมรับได้ว่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดข้อความ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนทางด้านทฤษฎีของงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้คือทฤษฎีคนเดิน,ทฤษฎีการจำลองและวิธีการทดสอบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง, มาตรฐานที่เกี่ยวกับงานวิจัย

2.1. คนเดินเท้า

คนเดินเท้าคือคนในระบบที่จะเคลื่อนจากจุดเริ่มต้นใดๆในระบบไปยังจุดปลายทางใดๆในระบบด้วยการเดินโดยพฤติกรรมของคนเดินนั้นจะช่วยให้มองเห็นตัวของระบบการขนส่งใดๆในระดับจุลภาพ (microscopic) โดยจะสามารถนำคนเดินเหล่านี้มาสร้างเป็นแบบจำลองสถานการณ์ต่างๆโดยอาศัยสิ่งอำนวยความสะดวกของคนเดินและสิ่งกีดขวางเพื่อช่วยในการตรวจสอบการทำงานของระบบจราจรของคนเดินเท้าในสถานการณ์ต่างๆโดยจะสามารถจำแนกลักษณะเฉพาะของคนเดินเท้าได้โดยที่จะขึ้นกับข้อมูลที่ใส่เข้าไปคือเพศและอายุของผู้โดยสาร

โดยจากการศึกษางานวิจัยย้อนหลังพบว่าได้มีการนำโปรแกรมสร้างแบบจำลองคนเดินเท้านี้หลากหลายโปรแกรมเช่น Arena, PTV VISSIM, Legion, Pathfinder, PTV VISWALK และ อื่น ๆ โดยการวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การจำลองการอพยพ (Evacuation model) ภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินซึ่งโปรแกรมที่จะนำมาใช้คือโปรแกรม PTV VISSIM ซึ่งเป็นโปรแกรมมีความสามารถในการจำลองสถานการณ์ของการอพยพของคนเดินในรูปแบบ3มิติต่อมา

2.2. การประยุกต์ใช้โปรแกรมแบบจำลอง PTV VISSM ในการสร้างแบบจำลอง

โปรแกรม PTV VISSIM เป็นโปรแกรมสัญชาติเยอรมันที่มีจุดเด่นในการสร้างแบบจำลองทั้งในรูป 2 มิติ และแบบ 3 มิติโดยการใส่ข้อมูลจำพวกแบบแปลนของระบบการขนส่งที่สนใจโดยสามารถที่จะระบุลักษณะเฉพาะของคนเดินเท้าเข้าไปในระบบได้เช่นเพศและอายุของผู้โดยสารโดยการประยุกต์ใช้ในการวิจัยนี้คือจะนำข้อมูลการกระจายตัวของความเร็วของคนเดินมาใส่ในตัวโปรแกรมโดยที่สามารถระบุการกระจายของความเร็วนั้นๆเป็นของข้อมูลลักษณะเฉพาะของข้อมูลใดเพื่อให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

2.3. ทฤษฎีการจำลองและวิธีการตรวจสอบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

โดยส่วนนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือการทำการทดสอบโมเดลแบบจำลองและการตรวจสอบความถูกต้องของโมเดลดังนี้

2.3.1. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (VERIFICATION OF EVACUATION MODELS)

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการอพยพคือกระบวนการของการพิจารณาความแม่นยำในการนำไปใช้ของวิธีการคำนวนที่ใช้อธิบายถึงแนวคิดของผู้พัฒนาแบบจำลองเกี่ยวกับหลักการคำนวนแหละผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวน (International Standards Organization, 2008) [1] โดยในทางแบบจำลองการ

อพยพนั้นไม่ได้มีมาตรฐานสากลสำหรับขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้อง (Ronchi et al., 2013a) [2] แต่ก็ยังมีวิธีตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองอพยพอยู่หลากหลายวิธีโดยในการวิจัยนี้จะอ้างอิงของมาตรฐานของ NIST ในการพิสูจน์แบบจำลองการอพยพโดยวิธีการทดสอบ

2.3.2. การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Validation of Evacuation Models)

การทำการตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองนั้นมีอยู่หลากหลายคำจำกัดความแต่ในตัวงานวิจัยนี้จะมีความหมายคือกระบวนการพิจารณาว่าหลักวิธีการคำนวณของแบบจำลองนั้นๆ แสดงถึงระดับความถูกต้องของโลกแห่งความเป็นจริงเป็นไปตามแนวคิดที่ได้ตั้งใจไว้ (International Standards Organization, 2008) [1]

2.4. มาตรฐานที่เกี่ยวกับงานวิจัย

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้คือ NFPA 101 และ NFPA 130

2.4.1. มาตรฐาน NFPA 101 Life safety Code

NFPA 101 life safety code [3] เป็นมาตรฐานที่เป็นที่หลายๆ หน่วยงานนำมาอ้างอิงโดยมาตรฐานนี้จะกล่าวถึงวิธีป้องกันผู้คนจากเหตุอัคคีภัยโดยจะระบุมาตรฐานขั้นต่ำไว้สำหรับอาคารหรือสถานที่ต่างๆให้เกิดความปลอดภัยในกรณีเกิดเพลิงไหม้หรือสถานการณ์ฉุกเฉินต่างๆ

2.4.2. มาตรฐาน NFPA 130Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems

NFPA 130 [4] คือมาตรฐานการออกแบบด้านความปลอดภัยด้านอัคคีภัยของระบบขนส่งในทางออกแบบด้านโครงสร้างไปจนถึงสิ่งอำนวยความสะดวกภายในสถานีรถไฟโดยจะยังครอบคุมไปถึงระบบการอพยพภายในตัวสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินอีกด้วยซึ่งถูกใช้อ้างอิงในหลายประเทศโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างความปลอดภัยให้ผู้ใช้งานระบบขนส่งสาธรณะดังกล่าว

2.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เมื่อกล่าวถึงงานวิจัยด้านการอพยพในช่วงเวลาที่ผ่านมาหลายปีนี้ได้มีการเข้ามาศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยการจำลองสถานการณ์การอพยพมากขึ้นผ่านโปรแกรมแบบจำลองหลายหลายโปรแกรมโดยมุ่งเน้นไปที่การทำการพิสูจน์ว่าแบบจำลองที่สร้างผ่านโปรแกรมเหล่านั้นสามารถนำมาใช้อ้างอิงกับระบบในโลกความเป็นจริงหรือไม่ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการทบทวนวรรณกรรมย้อนหลังเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม PTV VISWALK กับการสร้างแบบจำลองการอพยพคือ “Verification and Validation of Viswalk for Building Evacuation Modelling” [5] โดย Johan Blomstrand Martén และ Johan Henningsson ซึ่งศึกษาการประยุกต์ใช้โปรแกรม PTV Viswalk ในการทำการตรวจสอบความถูกต้องและตรวจสอบความเหมาะสมของตัวโมเดลว่าสามารถใช้อ้างอิงในระบบของโลกความเป็นจริงได้หรือไม่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ก็ยังไม่สามารถที่จะนำความตื่นตระหนกของคนเดินมาประยุกต์ใช้กับตัวโปรแกรมได้เพราะโปรแกรม PTV VISWALK ในปัจจุบันยังไม่มีการนำตัวแปรดังกล่าวเข้ามาให้ใช้งานซึ่งทำให้หลักการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของตัวโมเดลนั้นจำเป็นต้องเทียบกับการซ้อมอพยพเท่านั้น

การศึกษาต่อได้มีการศึกษางานวิจัย การศึกษาการอพยพหนีไฟในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข [6] ซึ่งเป็นงานวิจัยเพื่อศึกษาการอพยพของผู้โดยสารในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินให้เป็นไปตามมาตรฐานของ NFPA 130 โดยงานวิจัยนี้จะอาศัยโปรแกรม FDS + Evac (Fire Dynamics Simulator with Evacuation)โดยงานวิจัยนี้สรุปผลว่าการอพยพควรหนีไฟนั้นควรอยู่ในช่วงเวลา 6 นาทีอันเนื่องมาจากระยะการมองเห็นของผู้อพยพจะลดลงจนเหลือเพียง 2 เมตรและอาจเป็นเหตุเสียชีวิตจากการสูดแก๊สพิษมากจนเกินไป

การศึกษาต่อมาคือ Effect of varying two key parameters in simulating evacuation for subway stations in China [7] โดยเป็นการศึกษาผลของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่เกิดการคอขวดโดยจะสนใจที่ความเร็วสูงสุดและความกว้างเฉลี่ยต่ำสุดของบันไดว่ามีผลต่อการอพยพอย่างไรและทำนายประสิทธิภาพของการอพยพผ่านโปรแกรม EXODUS โดยผลที่ได้จากการศึกษาดังกล่าวพบว่า การเปลี่ยนตัวแปรความเร็วและความกว้างของบันไดมีผลในการลดเวลาของการอพยพโดยรวมถึง 50เปอร์เซ็นต์และเมื่อตัวแปรสองตัวที่กล่าวมาข้างต้นต่างกันประสิทธิภาพการอพยพจะขึ้นความหนาแน่นของคนในตัวสถานี

การศึกษาต่อมาคือ การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์การอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย[8] โดยการศึกษานี้การศึกษาต่อยอดมาจาก 2 การศึกษาที่ได้กล่าวมาข้างต้นโดยมีจุดมุ่งหมายในการศึกษาคือศึกษาพฤติกรรมการเดินของคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้าบนบันไดชั้นชานชาลาและชั้นออกบัตรวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการอพยพของแต่ละสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่มีโครงสร้างแตกต่างกันโดยผลที่ได้จากการศึกษานี้คือพบว่าการเปิดให้ใช้งานบันไดเลื่อนจะช่วยลดเวลาการอพยพโดยเทียบกับไม่เปิดแล้วเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ยและยิ่งขนาดความกว้างของบันไดมีมากเท่าไหร่ก็จะส่งผลให้เวลาอพยพในแต่ละสถานีลดน้อยลงไปด้วยซึ่งงานวิจัยนี้จะสามารถนำ

การศึกษาเกี่ยวกับขนาดบันไดและวิธีการทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองมาประยุกต์และต่อยอดได้

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะอธิบายถึงวิธีการดำเนินการวิจัยของงานวิจัยนี้โดยจะแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อดังนี้

3.1. กำหนดขอบเขตการศึกษา

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดขอบเขตการศึกษาไว้ดังนี้คือ 1.อาศัยข้อมูลความเร็วของคนเดินในช่วงเวลาที่เร่งด่วน 2. สร้างแบบจำลองการอพยพจากข้อมูลของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีจตุจักรโดยอาศัยแบบแปลนของสถานีรถไฟฟ้าจตุจักร 3.กำหนดปริมาณของคนอพยพเป็น 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณความจุที่สามารถรับผู้โดยสารได้จากตัวสถานีรถไฟฟ้าจตุจักรเท่านั้น

3.2. สำรวจพื้นที่ศึกษาและเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลของงานวิจัยนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1. ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของตัวสถานีรถไฟฟ้า 2. ข้อมูลพฤติกรรมคนเดินเท้าในสถานีรถไฟฟ้าดังนี้

3.2.1. ลักษณะทางกายภาพของสถานี

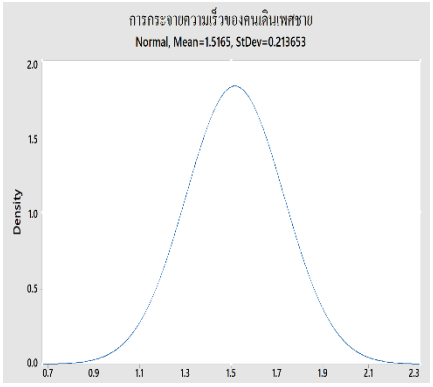
โดยส่วนนี้จะทำการเข้าไปข้อมูลแบบแปลนของทางสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจตุจักรโดยนอกจากอาศัยแบบแปลนดังกล่าวแล้วจำเป็นต้องเก็บข้อมูลภาคสถามเพิ่มเติมอีกว่ามีความเปลี่ยนแปลงในลักษณะทางกายภาพเพิ่มเติมหรือไม่เพื่อที่ให้แบบจำลองออกมาใกล้เคียงความจริงมากที่สุด

3.2.2. ข้อมูลพฤติกรรมคนเดินเท้าในสถานีรถไฟฟ้าดังนี้

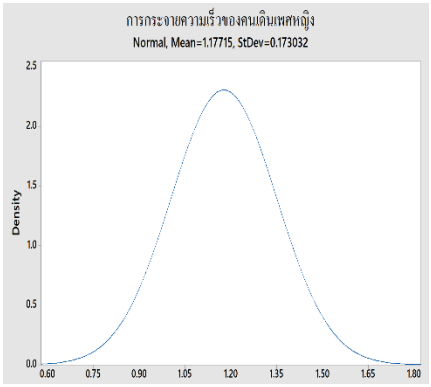
ด้านข้อมูลพฤติกรรมของคนเดินนั้นจะทำการเก็บข้อมูลดังนี้คือ 1.พฤติกรรมของคนเดินบนทางเดินปกติ 2.พฤติกรรมคนเดินเท้าของคนเดินเท้าของคนเดินขึ้นและลงบันไดของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในช่วงเวลาเร่งด่วนดังนี้คือ

1. พฤติกรรมของคนเดินบนทางเดินปกติ

ในงานวิจัยนี้จะทำการเก็บข้อมูลพฤติกรรมของคนเดินทางปกติโดยวิธีการทำความเร็วที่จุด ๆ หนึ่ง (spot speed) โดยจะทำการวัดความยาวจุด2จุดที่ใช้อ้างอิงจากนั้นทำการสังเกตเวลาของผู้โดยสารที่เดินจากจุดอ้างอิงที่1 ไปยังจุดอ้างอิงที่ 2 โดยจะนำเวลาที่ได้ของแต่ละตัวผู้โดยสารนั้นๆมาทำการหารระยะทางที่ใช้ในการอ้างอิงก็จะได้เป็นความเร็วของแต่ละผู้โดยสารทั้งนี้จะทำกาแบ่งแยกข้อมูลความเร็วผู้โดยสารเป็น 2 ข้อมูล คือเพศชายและหญิงตามลำดับเพื่อที่จะนำมากราฟการกระจายตัวของความเร็วดังภาพที่1-2



รูปที่ 1 กราฟการกระจายความเร็วของคนเดินเพศชาย



รูปที่2 กราฟการกระจายความเร็วของคนเดินเพศหญิง

2. พฤติกรรมคนเดินเท้าของคนเดินเท้าของคนเดินขึ้นและลงบันไดของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

ในงานวิจัยนี้จะทำการเก็บข้อมูลของเวลาในการเดินขึ้นของบันไดแต่ละชนิดในตัวสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินมาเพื่อทำการสอบเทียบกับแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากข้อมูลการกระจายของความเร็วคนเดินที่ได้ทำมาในข้อที่แล้วโดยเวลาที่ใช้ทั้งหมดในแต่ละชนิดของบันได

3.3. การคัดเลือกแบบจำลองการอพยพ

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์การคนเดินเท้าไม่ว่าจะเป็นสถานการณ์ปกติหรืออพยพก็ตามจำเป็นที่จะต้องมีเครื่องมือที่สามารถจำลองสถานการณ์ดังกล่าวได้นั้นก็คือโปรแกรมของคอมพิวเตอร์โดยตัวโปรแกรมดังกล่าวนั้นจะต้องมีความถูกต้องและได้รับการยอมรับจากหลายหน่วยงานโดยตัวโปรแกรมดังกล่าวนั้นจะต้องสามารถทำได้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนั้นๆด้วย

3.4. การปรับเทียบแบบจำลอง

การปรับเทียบแบบจำลองนั้นเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างมากในการทำแบบจำลองโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรบางตัวในแบบจำลองเพื่อทำให้ผลลัพท์มีค่าที่ใกล้เคียงเสมือนกับค่าที่ได้จากการไปสำรวจข้อมูลโดยการนำผลลัพท์เหล่านั้นมาทำการสอบเทียบกับข้อมูลทางจราจรของระบบโดยผลลัพท์นั้น ๆ

จะต้องผ่านเกณฑ์ที่ใช้ในการปรับเทียบเพื่อที่สามารถยอมรับได้ว่าแบบจำลองนั้น ๆ สามารถอ้างอิงระบบในโลกความจริงได้หลังจากนั้นจึงจะสามารถนำแบบจำลองเหล่านั้นไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์อื่น ๆ ต่อไปโดยในงานวิจัยนี้จะทำการสอบเทียบดังนี้คือ

1 เวลาของคนเดินในทางเดินปกติ

2 เวลาของคนเดินขึ้นบันไดทิศทางขึ้น

3 เวลาของคนเดินที่ใช้บริการบันไดเลื่อนทิศทางขึ้น

3.4.1. เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลอง

เกณฑ์ที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองนั้นจะนำหลักการทางสถิติมาช่วยในการพิสูจน์ความเหมาะสมของแบบจำลองนั้นๆด้วยวิธีดังนี้ผลรวมของการวัดที่พอดี (aggregate goodness-of-fit measurement) โดยในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการประเมินผลด้วย MAE (mean absolute error) โดยเป็นวิธีประเมินค่าความผิดพลาดระหว่างค่าของแบบจำลองและค่าที่ได้มาจากข้อมูลที่ไปสำรวจโดยจะใช้ค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 ข้อมูล ที่กล่าวมาข้างต้นมาคำนวนในสมการที่ 1

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|y_i - x_i|}{n} \quad (1)$$

โดยที่ y คือค่าที่ได้จากการสำรวจ

x คือค่าที่ได้จากแบบจำลอง

n คือจำนวนข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ

4. การพัฒนาแบบจำลอง

ในงานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองของคนเดินเท้าในระดับจุลภาคเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ระบบของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีจตุจักรที่มีความซับซ้อนอย่างมากในสถานการณ์การอพยพโดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้งานโปรแกรมสร้างแบบจำลองสัญชาติเยอรมันนั้นก็คือ PTV VISSIM โดยอาศัยฟังชั่นภายในโปรแกรมในการสร้างแบบจำลองของคนเดินเท้าในสถานการณ์อพยพโดยโปรแกรมนี้มีจุดเด่นในการจำลองพฤติกรรมของคนเดินในรูปแบบ 3 มิติโดยการจำลองใดๆในโปรแกรมนี้ไม่มีการนำตัวแปรความตื่นตระหนกและความกลัวที่มีผลในการผลักดันต่อคนเดินเท้าในระบบโดยวิธีการพัฒนาแบบจำลองจะถูกกล่าวในบทนี้

4.1 การพัฒนาแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์การอพยพในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

การประยุกต์ใช้แบบจำลองในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม PTV VISSIM ในการช่วยวิเคราะห์การอพยพผู้โดยสารของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจตุจักรโดยได้ทำการตั้งสมมติฐานของการจำลองและการสร้างแบบจำลองไว้ดังนี้

4.1.1. แนวคิดการพัฒนาแบบจำลองการอพยพ

จะแบ่งเป็น 3 กรณีในการสร้างแบบจำลองดังนี้

1 คนเดินเท้าไม่สามารถใช้บันไดเลื่อนในการอพยพได้

2 คนเดินเท้าสามารถใช้บันไดเลื่อนฝั่งที่เคลื่อนที่ขึ้นในการอพยพได้

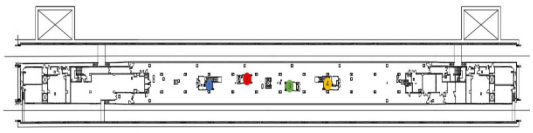
3 คนเดินเท้าสามารถใช้บันไดเลื่อนทั้งสองฝั่งที่ปรับให้เป็นทิศขึ้นทั้งหมดในการอพยพได้

4.1.2. การกำหนดปริมาณคนเดินเท้าในระบบอพยพ

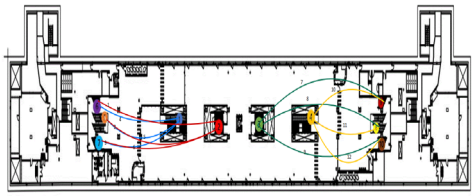
การกำหนดปริมาณอพยพนั้นจะสามารถหาได้จากการหาพื้นที่ครอบครองของคนเดินเท้าในชั้นชานชาลาโดยจากการสำรวจของงานวิจัย การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย ได้ทำการสำรวจโดยการกำหนดพื้นที่ขนาด 3.6 x 4.8 เมตรและนับจำนวนคนภายในชั้นชานชาลาโดยได้ผลลัพธ์ว่าในชั้นชานชาลาของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศนั้นมีความจุเฉลี่ยอยู่ที่ 2.5 คนต่อตารางเมตรหรือคิดเป็นพื้นที่ครอบครองเฉลี่ยของคนเดินเท้าแต่ละคนเท่ากับ 0.4 ตารางเมตร/คน

4.1.3. สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจตุจักรลักษณะทางกายภาพของสถานี

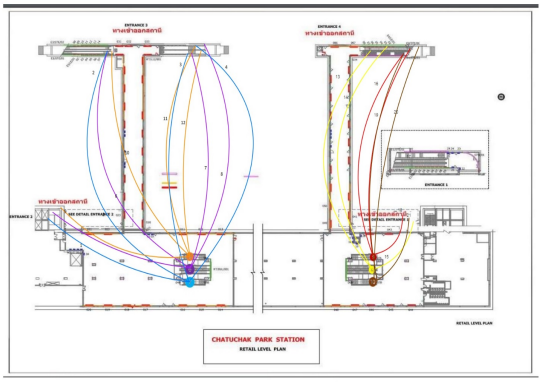
สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจตุจักรนั้นจะเป็นสถานีประเภท Island platform หรือก็คือตัวรถไฟฟ้านั้นจะอยู่ในชั้นใต้ดินโดยจะถูกติดตั้งบริเวณฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของตัวสถานีโดยสถานีนี้จะมีชั้นให้บริการทั้งหมด 3 ชั้นแบ่งเป็น ชั้น metro mall, ชั้นจำหน่ายตั๋ว และชั้นชานชาลาโดยสามารถดูข้อมูลโดยรวมของสถานีได้จากรูปที่ 1-3 พร้อมเส้นทางอพยพ



รูปที่ 1 แบบแปลนพร้อมเส้นทางการอพยพของชั้นชานชาลาสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจตุจักร



รูปที่ 2 แบบแปลนพร้อมเส้นทางการอพยพของชั้นจำหน่ายตั๋วสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจตุจักร



รูปที่ 3 แบบแปลนพร้อมเส้นทางการอพยพของชั้นจำหน่ายสินค้าสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจตุจักร

4.2. การกำหนดปริมาณคนเดินเท้าในระบบ

การกำหนดปริมาณคนในระบบของการอพยพนั้นจะสามารถหาได้จากพื้นที่ของคนเดินเท้าที่สามารถยืนรอได้ในตัวของชั้นชานชาลา ซึ่งในสถานีรถไฟฟ้าจตุจักรนั้นมีพื้นที่ใช้สอยของในชั้นชานชาลาเท่ากับกว้าง 17.5 เมตร ยาว 148 เมตร โดยจะมีพื้นที่ทั้งหมดเท่ากับ 2590 ตารางเมตร ฉะนั้นความหนาแน่นของคนเดินเท้าในชั้นชานชาลาจะเท่ากับ 6,475 คน ในชั้นชานชาลา

4.3. การกำหนดเส้นทางการอพยพของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจตุจักร

เส้นทางการอพยพของสถานีนี้นั้นจะเริ่มจากชั้นชานชาลามุ่งหน้าขึ้นสู่ทางออกบนพื้นดินโดยเส้นทางอพยพนั้นๆจะถูกอธิบายในรูปภาพที่1-3โดยเส้นสีต่างๆคือเส้นทางอพยพที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ขึ้นสู่พื้นที่ปลอดภัยนอกตัวสถานีโดยในงานวิจัยนี้จะแบ่งการจำลองเป็น 3 สถานการณ์ดังนี้

1.คนเดินเท้าไม่สามารถใช้บันไดเลื่อนในการอพยพได้

2.คนเดินเท้าสามารถใช้บันไดเลื่อนฝั่งขึ้นในการอพยพได้

3.คนเดินเท้าสามารถใช้บันไดเลื่อนทั้งหมดในการอพยพได้โดยกำหนดให้บันไดเลื่อนทุกตัวมีทิศทางขึ้น

5. การปรับเทียบแบบจำลอง

เพื่อให้แบบจำลองที่จะสร้างมานั้นมีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมที่จะได้นำมาวิเคราะห์นั้นจำเป็นต้องมีกระบวนการที่จะทำก่อนขั้นตอนวิเคราะห์เสมอนั่นก็คือ การปรับเทียบแบบจำลองโดยการปรับเทียบแบบจำลองคือการเปรียบเทียบข้อมูลภาคสนามกับข้อมูลในแบบจำลองให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้โดยงานวิจัยนี้จะมีการสอบเทียบดังนี้

5.1. การปรับเทียบแบบจำลองบริเวณทางเดินปกติ

สำหรับการปรับเทียบแบบจำลองพฤติกรรมของคนเดินนั้นในงานวิจัยนี้จะเลือกบริเวณชั้นชานชาลาในการเก็บข้อมูลเนื่องมาจากคนเดินเท้าในช่วงเวลาเร่งด่วนนั้นจะมีความเร็วในการเดินสูงโดยจะเก็บข้อมูลโดยการยืดหลักเสาถึงเสาโดยมีระยะทางยาว 10 เมตรไม่มีความลาดชันและทำการจับเวลาของคนเดินเสาถึงเสาโดยหลังจากการจำลองเสร็จจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการจำลองมาทำการเปรียบเทียบด้วยวิธี Mean absolute Error ที่ได้อธิบายไว้ในบทที่3 โดยจะได้ผลตามตารางที่ 1 แบ่งตามเพศของคนเดินเท้า

ตารางที่1 ตารางแสดงการสอบเทียบแบบจำลองกับค่าการสำรวจโดยวิธี MAE ของคนเดินเท้าบนทางเท้าปกติ

เพศ	การสำรวจ	แบบจำลอง	MAE
ชาย	6.616 วินาที	6.94 วินาที	4.90%
หญิง	8.71 วินาที	9 วินาที	3%

5.2. การปรับเทียบแบบจำลองของบันได

สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีจตุจักรนั้นมีบันไดทั้งหมด 3 รูปแบบ โดยแบ่งเป็น บันไดรูปตัว U, บันไดปกติ, และบันไดเลื่อนมีชั้นพัก 4 ชั้นโดยหลังการปรับเทียบแบบจำลองกับผลที่ได้จากการสำรวจได้ค่าดังนี้แบ่งตามบันไดในแต่ละชั้นหลังจากการจำลองเสร็จจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการจำลองมาทำการเปรียบเทียบด้วยวิธี Mean Absolute Error ที่ได้อธิบายไว้ในบทที่3โดยจะยกตัวอย่างผลของบันไดรูปตัวU ในตารางที่2โดยทำการจำแนกตามเพศของคนเดินเท้า

5.2.1. บันไดรูปตัวU

ตารางที่ 2 ตารางแสดงการสอบเทียบแบบจำลองกับค่าการสำรวจโดยวิธี MAE ของบันไดรูปตัว U

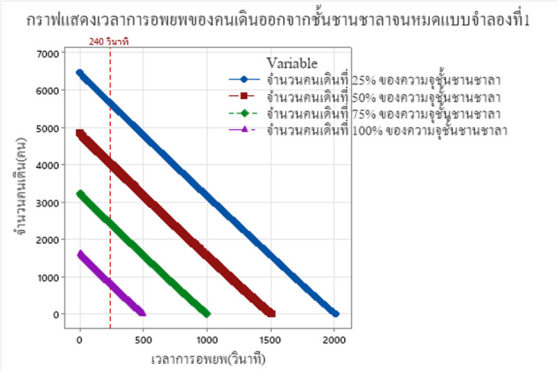
เพศ	การสำรวจ	แบบจำลอง	MAE
ชาย	15.87 วินาที	15.6 วินาที	1.70%
หญิง	20.74 วินาที	20.25 วินาที	2.34%

6. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

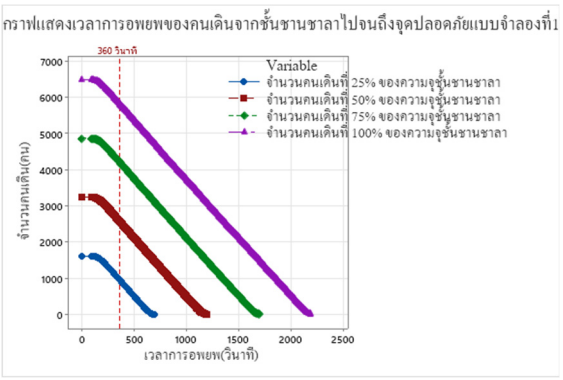
จากจุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือการพัฒนาแบบจำลองการอพยพของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจตุจักรโดยทำแบบจำลอง3 สถานการณ์โดยประกอบด้วย แบบจำลองที่ 1 คือคนเดินไม่สามารถใช้บันไดเลื่อนในการอพยพได้, แบบจำลองที่ 2 คือคนเดินสามารถใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้นในการอพยพ, และ แบบจำลองที่ 3 คือสามารถใช้บันไดเลื่อนในการอพยพได้โดยการกำหนดให้บันไดเลื่อนเป็นทิศขึ้นทั้งหมดโดยกำหนดให้จำนวนคนอพยพในระบบเป็น 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ของความจุสูงสุดของชั้นชานชาลาโดยเป็นจำนวนคนเท่ากับ 1618, 3238, 4857 และ 6475 คน โดยใช้มาตราฐาน NFPA 130 คือระยะสั้น 4 นาที (240 วินาที) ระยะยาว 6นาที (360 วินาที) โดยจะแสดงเป็นเส้นประสีแดงที่โชว์ในรูปที่ 4 ถึงรูปที่ 9

6.1. ประสิทธิภาพเวลาการอพยพในแต่ละแบบจำลอง

6.1.1. เวลาอพยพของคนเดินแบบจำลองที่ 1

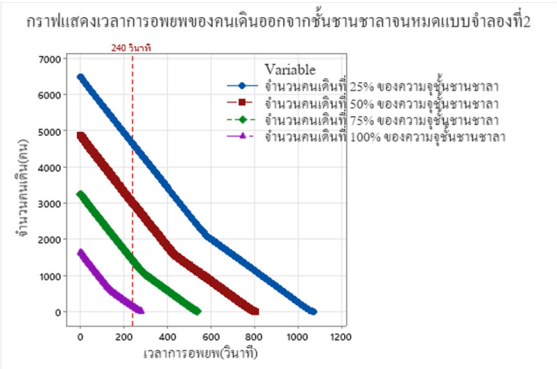


รูปที่ 4 กราฟแสดงเวลาการอพยพของแบบจำลองที่1ในระยะสั้น

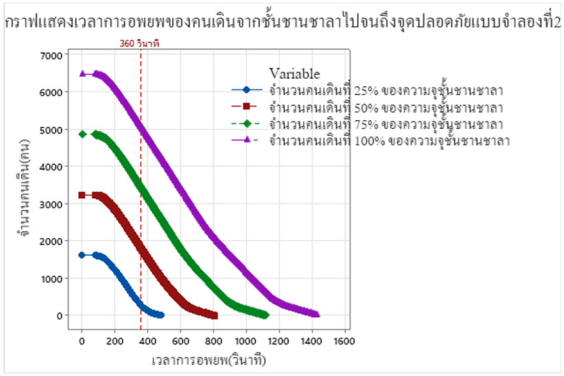


รูปที่ 5 กราฟแสดงเวลาการอพยพในแบบจำลองที่1ในระยะยาว

6.1.2. เวลาการอพยพของคนเดินแบบจำลองที่ 2

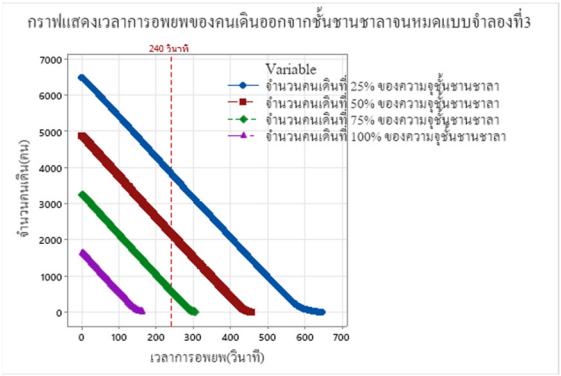


รูปที่ 6 กราฟแสดงเวลาการอพยพในแบบจำลองที่2ในระยะสั้น

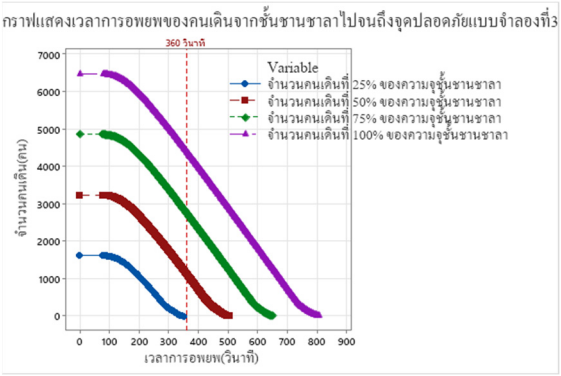


รูปที่ 7 กราฟแสดงเวลาการอพยพในแบบจำลองที่2ในระยะยาว

6.1.3. เวลาการอพยพคนเดินในแบบจำลองที่ 3



รูปที่ 8 กราฟแสดงเวลาการอพยพของแบบจำลองที่3ในระยะสั้น



รูปที่ 9 กราฟแสดงเวลาการอพยพของแบบจำลองที่3ในระยะยาว

6.2. การเปรียบเทียบปรสิทธภาพการอพยพของแต่ละแบบจำลอง

เพื่อหาประสิทธิการอพยพของในแต่ละแบบจำลองนั้นจะทำได้โดยกการนำเวลาการอพยพของแต่ละแบบจำลองมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยจะแสดงในตารางที่ 3 โดยระยะสั้นคืออพยพหมดชั้นชานชาลาส่วนระยะยาวคืออพยพจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัย

ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอพยพของคนเดิน

การเทียบประสิทธิภาพ	ปริมาณคนเดินเท้า (คน)				เฉลี่ย
	1618	3238	4857	6475	
เวลาอพยพแบบจำลองที่ 1 เทียบกับ 2 (%)					
ระยะสั้น	44 %	46 %	47 %	47 %	46 %
ระยะยาว	30 %	33 %	34 %	35 %	33 %
เวลาอพยพแบบจำลองที่ 1 เทียบกับ 2 (%)					
ระยะสั้น	42 %	44 %	43 %	40 %	42 %
ระยะยาว	28 %	37 %	42 %	43 %	38 %
เวลาอพยพกรณีที่ 1 เทียบกับ 3 (%)					
ระยะสั้น	67 %	70 %	70 %	68 %	69 %
ระยะยาว	50 %	58 %	62 %	63 %	58 %

7. สรุปผลงานวิจัย

เพื่อบรรลุจุดมุ่งหมายในงานวิจัยแบบจำลองที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้จะมีทั้งหมด 3 แบบจำลอง คือ 1. คนเดินไม่สามารถใช้บันไดเลื่อนในการอพยพได้ 2. คนเดินสามารถใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้นในการอพยพ 3. สามารถใช้บันไดเลื่อนในการอพยพได้โดยการกำหนดให้บันไดเลื่อนเป็นทิศขึ้นทั้งหมดโดยกำหนดให้จำนวนคนโดยจะได้เป็นแบบจำลองทั้งหมด 3 แบบจำลองผ่านโปรแกรมสร้างแบบจำลอง PTV VISSIM โดยอาศัยแบบแปลนโครงสร้างของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจตุจักรในการสร้างแบบจำลอง

จากการจำลองพบว่าแบบจำลองที่ 3 สามารถช่วยให้เวลาการอพยพลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ 1 เวลาอพยพจะลดลงมากถึง 69% และ 58% ในระยะสั้นและระยะยาวตามลำดับ และพบว่ามีเพียงแบบจำลองที่อนุญาติให้คนเดินในระบบสามารถใช้บันไดเลื่อนในการอพยพได้โดยการกำหนดให้บันไดเลื่อนเป็นทิศขึ้นทั้งหมดที่กำหนดความจุของคนเดินในระบบที่ 25% ของความจุทั้งหมดของชั้นชานชาลาที่ผ่านมาตราฐานของ NFPA 130 โดยมีเวลาอพยพของระยะสั้นและยาวเท่ากับ 2.70 นาที และ 5.83 นาที ตามลำดับโดยเทียบกับมาตราฐานของระยะสั้น (อพยพออกจากชั้นชานชาลา) เท่ากับ 4 นาที และ ระยะยาว (อพยพออกจากชานชาลาไปยังจุดปลอดภัย) เท่ากับ 6 นาที ซึ่งจะสามารถอนุมานได้ว่าสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจตุจักรนั้นจะสามารถอพยพให้ทันเวลาตามมาตราฐานของ NFPA 130 จะต้องมีความจุของคนเดินเท่ากับหรือน้อยกว่า 1618 คนในชั้นชานชาลาโดยคนในระบบทุกคนจะต้องสามารถใช้สิ่งอำนวยความสะดวกทุกอย่างตรงกับแบบจำลองที่ 3 เพื่อให้มีประสิทธิภาพการอพยพมากที่สุด

8. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยฉบับนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณไปยังการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทยและบริษัท BEM สำหรับความอนุเคราะห์ให้ข้อมูลแบบแปลนสถานีรถไฟฟ้าและอนุญาตให้เข้าไปเก็บข้อมูลภาคสำรวจในตัวสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินพร้อมให้คำปรึกษาต่างๆเพื่อที่คณะผู้จัดทำสามารถสร้างแบบจำลองการอพยพขึ้นมา

9. เอกสารอ้างอิง

[1] International Standards Organization. (2008). Fire Safety Engineering – Assessment, verification and validation of calculation methods. ISO 16730. Geneva, Switzerland: International Standards Organization.

[2] Ronchi, E., Kuligowski, E.D., Reneke, P.A., Peacock, R.D. & Nilsson, D. (2013a). The Process of Verification and Validation of Building Fire Evacuation Models. Technical Note 1822. Gaithersburg,

[3] National Fire Protection Association (2003). NFPA 101 Life Safety Code.

[4] National Fire Protection Association (2007). NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit

[5] Johan Blomstrand Martén, Johan Henningsson (2014). Verification and Validation of Viswalk for Building Evacuation Modelling. M.Eng. Department of Fire Safety Engineering Lund University, Sweden.

[6] วิวรรณ อัศวสุขี และ ณัฐศักดิ์ บุญมี (2553). การศึกษาการอพยพหนีไฟในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินด้วยระบบวิธีเชิงตัวเลข. วิศวกรรมสาร มก.

[7] Jiang, C. S., Yuan, F., & Chow, W. K. (2010). Effect of varying two key parameters in simulating evacuation for subway stations in China.Safety Science 48(4), 445-451.

[8] ธนา น้อยเรือน (2560). การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์การอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย. วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยบูรพา, ประเทศไทย