

วิธีอ้างอิงบทความนี้: ณัฐพงศ์ ชูโชติถาวร และไพโรจน์ เ้าธนชกุล. (2568). การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความแออัดในเส้นทางเข้าสู่ประตูตรวจสอบรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ ณ ท่าเรือแหลมฉบัง. วารสารปฏิบัติการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน, 11(1), 137-153. <https://doi.org/10.53848/jlscov11i3.278258>

Received:	May	28, 2024
Revised:	October	1, 2024
Accepted:	October	20, 2025

การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความแออัดในเส้นทางเข้าสู่ประตูตรวจสอบรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ ณ ท่าเรือแหลมฉบัง

ณัฐพงศ์ ชูโชติถาวร^{1*} และ ไพโรจน์ เ้าธนชกุล²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ สร้างแบบจำลองสภาพการจราจรเส้นทางเข้าสู่ประตูตรวจสอบหมายเลข 3 ณ ท่าเรือแหลมฉบังและ เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความแออัดของการดำเนินการของประตูตรวจสอบหมายเลข 3 ณ ท่าเรือแหลมฉบัง ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงประยุกต์ กำหนดเส้นทางเข้าสู่ท่าเรือแหลมฉบังบริเวณประตูตรวจสอบที่ 3 เป็นพื้นที่ทำการศึกษากลุ่มตัวอย่างการวิจัยได้แก่ยานพาหนะที่เข้าสู่ท่าเรือในช่วงเวลา 13:00-19:00 น. จำนวน 5,693 คัน ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย การวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณ โดยตั้งข้อสมมติฐานว่าระยะเวลาการรอคอยเฉลี่ยและความยาวแถวคอยเฉลี่ยไม่แตกต่างกันของทุกกลุ่มที่ทำการทดสอบจากปัจจัยจำนวน 5 กลุ่มตามปัจจัยที่กำหนด ผลการวิจัย พบว่า แบบจำลองสภาพการจราจรที่พัฒนาขึ้นมีการปรับเทียบปริมาณจราจรในระดับน่าเชื่อถือ โดยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้น 10%-30% และผลลัพธ์วิเคราะห์ปัจจัยความแออัดด้วยการวิเคราะห์ค่าของปัจจัยด้วยเทคนิค One-way MANOVA ด้วยวิธีการทดสอบ Wilks พบการโต้ตอบของปัจจัย 1 คู่ ได้แก่ รอบสัญญาณไฟจราจร (ปัจจัย C) และจำนวนช่องจราจร (ปัจจัย E) ที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตาม (ระยะเวลาการรอคอยเฉลี่ยและความยาวแถวคอยเฉลี่ย) ที่มีค่านัยสำคัญทางสถิติ (Sig) เท่ากับ 0.032 ข้อค้นพบของงานวิจัยนี้คือทราบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความแออัดของเส้นทางเข้าสู่ด่านตรวจสอบแบบปัจจัยเดียวและแบบรายคู่จากแบบจำลองสภาพการจราจรร่วมกับวิธีการทดสอบผลลัพธ์ทางสถิติ

คำสำคัญ: ความแออัดของเส้นทาง, ท่าเรือแหลมฉบัง, แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค

ประเภทบทความ: บทความวิจัย

* ผู้รับผิดชอบงานหลัก

¹ นักศึกษาหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา, อีเมล: natthapong.chu@hotmail.com

² อาจารย์หลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา, อีเมล: paioj@buu.ac.th

Analysis of Laem Chabang Port container truck inspection gate entrance congestion factors

Natthapong Chuchottaworn^{1*} and Pairoj Raothanachonkun²

Abstract

This study aims to develop a traffic model for the entrance of Gate No. 3 at Laem Chabang Port and to examine the factors influencing congestion at this gate. The applied research model was utilized to identify the entrance to Laem Chabang Port at Gate No. 3 as the focal study area. The research sample comprised 5,693 vehicles that entered the port between 13:00 and 19:00 hours. The method of simple random sampling was employed. The research tools utilized were a micro-traffic model, analysis of variance, and multiple analysis of variance. The hypothesis posited that the mean waiting time and mean queue length were equivalent across all tested groups from the five factor categories based on the designated criteria. The research results indicated that the developed traffic model possessed a dependable traffic volume adjustment value. The developed model can accommodate a traffic volume increase of 10%-30%. The analysis of congestion factors, utilizing the One-way MANOVA technique with the Wilks test, identified a significant interaction between one pair of factors: traffic signal cycle (Factor C) and number of traffic lanes (Factor E). This interaction significantly affects the dependent variables (average waiting time and average queue length), with a statistical significance value (Sig) of 0.032. This research aims to identify the factors influencing congestion at the checkpoint entrance, analyzed through a traffic condition model and statistical testing methods for both single and paired scenarios.

Keywords: Traffic congestion, Laem Chabang Port, Microscopic traffic simulation

Type of Article: Research Article

* Corresponding author

¹ Student of Doctor of Philosophy Program in Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Logistics, Burapha University, Chonburi, Thailand, E-mail: natthapong.chu@hotmail.com

² Lecturer of Doctor of Philosophy Program in Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Logistics, Burapha University, Chonburi, Thailand, E-mail: pairoj@buu.ac.th

ผ่านการรับรองคุณภาพจากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI.) อยู่ในกลุ่ม 2 สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์

1. บทนำ

อุตสาหกรรมโลจิสติกส์ทางทะเลกำลังประสบปัญหาการจราจรติดขัดที่ประตูกำเรือตู้คอนเทนเนอร์ เนื่องจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมและชุมชนโดยรอบ (Panida & Hussien, 2021) ปัญหาความล่าช้าที่ประตูกำเรือไม่เพียงแต่ส่งผลเสียต่อเศรษฐกิจเท่านั้น แต่ยังส่งผลให้เกิดความล่าช้าในห่วงโซ่อุปทานและก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศอย่างมาก (Xu et al., 2021) การเพิ่มจำนวนรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ที่เข้าสู่ท่าเรือทำให้เกิดปัญหาแควคอยที่ประตูกำเรือและส่งผลให้เกิดความแออัดภายในท่าเรือ (Essi et al., 2021) โดยปริมาณงานที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะเพิ่มภาระงานของท่าเรือจำนวนมากให้กับท่าเทียบเรือตู้คอนเทนเนอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรถบรรทุกภายนอกที่ต้องการเข้ามารับหรือส่งตู้คอนเทนเนอร์มาถึงท่าเรืออย่างไม่ตั้งใจ ทำให้ประสิทธิภาพของสถานีขนส่งลดลง (Zhang et al., 2019) หากปัญหาดังกล่าวไม่ได้รับการแก้ไขอย่างถูกวิธีจะมีแนวโน้มให้ความแออัดขยายไปถึงพื้นที่ชุมชนและเครือข่ายถนนโดยรอบ ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของท่าเรือและธุรกิจใกล้เคียงอื่นๆ (Qu et al., 2021) มีความพยายามที่จะศึกษาปัญหาความแออัดที่เกิดขึ้นภายในท่าเรือต่างๆ ทั่วโลก โดยเฉพาะปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อผู้ประกอบการรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ภายในประเทศที่รับช่วงต่อการขนส่งสินค้าจากการขนส่งทางทะเล (Saharidis & Konstantzos, 2018) ถึงแม้ความแออัดของท่าเรือทั้งหมดลดลงได้โดยการขยายโครงสร้างพื้นฐานเป็นทางออกที่เร็วที่สุด แต่ยังมีค่าใช้จ่ายและใช้เวลานานที่สุด ดังนั้นการศึกษาหาปัจจัยที่ก่อให้เกิดความแออัดจากสภาพแวดล้อมการดำเนินการปัจจุบันสามารถให้ประโยชน์ที่ยั่งยืน (Xu et al., 2021)

สำหรับการศึกษาปัญหาการจราจรติดขัดบริเวณท่าเรือของประเทศไทย ปัจจุบันได้มีการศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหามากหลายรูปแบบ

อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนใหญ่นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วย 2 วิธีการ ได้แก่ 1) การลงทุนก่อสร้างเส้นทางและการเพิ่มอุปกรณ์ดำเนินงาน ดังงานวิจัยของ Torteeka (2011) ได้นำเสนอเกี่ยวกับการวิเคราะห์ต้นทุนและนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหโดยการลงทุนอุปกรณ์ขนย้ายภายในท่าเทียบเรือเพิ่ม Panida and Hussien (2021) นำเสนอแนวทางการเพิ่มจำนวนช่องเดินรถตามปริมาณของรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกัน และ 2) การศึกษาแนวทางการกำหนดค่าปรับรถบรรทุกที่เข้ามาในช่วงเวลาเร่งด่วนเพื่อลดปริมาณยานพาหนะ Tuntivejakul (2015) นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวการกำหนดค่าผ่านทางที่ตามระดับความแออัดที่เกิดขึ้นภายในท่าเรือแหลมฉบังเพื่อกระจายความต้องการขนส่งสินค้าไปในช่วงเวลาต่างๆ

จากการทบทวนงานวิจัยข้างต้นพบว่ายังมีช่องว่างของการวิจัยที่เกี่ยวกับวิธีการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความแออัดของประตูตรวจสอบท่าเรือ อีกทั้งจากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีข้อเสนอแนะทางการวิเคราะห์ผลลัพธ์ของปัจจัยร่วมกันระหว่างวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติและแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้กำหนดแผนนโยบายการแก้ไขปัญหที่เหมาะสม จึงเป็นที่มาและความสำคัญของการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างแบบจำลองสภาพการจราจรเส้นทางเข้าสู่ประตูตรวจสอบหมายเลข 3 ณ ท่าเรือแหลมฉบัง
2. เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแออัดของการดำเนินการของประตูตรวจสอบหมายเลข 3 ณ ท่าเรือแหลมฉบัง

3. สมมติฐานการวิจัย

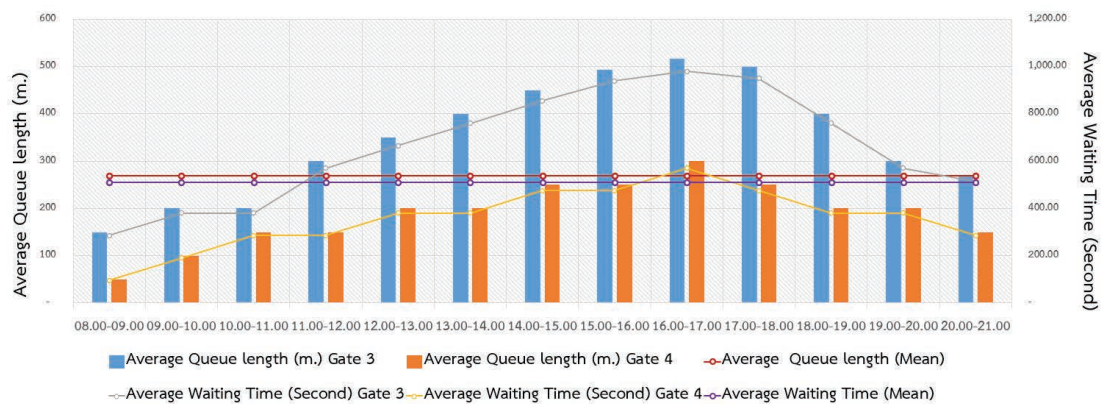
สมมติฐานสำหรับวิเคราะห์ปัจจัยความแออัดที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการดำเนินการของประตูตรวจสอบ เพื่อทดสอบความแปรปรวนที่เกิดขึ้นเมื่อปัจจัยที่กำหนดเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยเทคนิค ANOVA แบ่งกลุ่มทดสอบออกเป็น 5 กลุ่มตามจำนวนปัจจัย ดังนี้

H_0 : ระยะเวลาการรอคอยเฉลี่ยและความยาวแถวคอยเฉลี่ยไม่แตกต่างกันของทุกกลุ่มที่ทำการทดสอบ

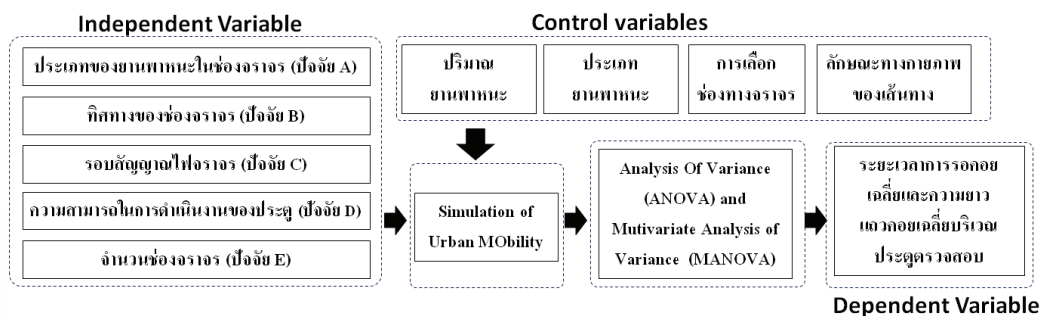
H_a : ระยะเวลาการรอคอยเฉลี่ยและความยาวแถวคอยเฉลี่ยแตกต่างกันของทุกกลุ่มที่ทำการทดสอบ

4. กรอบแนวคิดการวิจัย

ผู้วิจัยกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความแออัดของประตูตรวจสอบตู้คอนเทนเนอร์เป็นตัวแปรอิสระสำหรับการทดสอบจำนวน 5 ปัจจัย ตัวแปรควบคุมที่มีลักษณะเหมือนกันทุกการทดสอบจำนวน 4 ด้าน และตัวแปรตามที่เป็นผลลัพธ์ของการวิจัย 1 ด้าน โดยมีรายละเอียดแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ระยะเวลาการรอคอยและจำนวนยานพาหนะในแถวคอยที่ประตูตรวจสอบ
ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดการวิจัย
ที่มา : ผู้วิจัย

5. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

5.1 ปัจจัยความแออัดของประตูทางเข้าท่าเรือ

ความแออัดของประตูทางเข้าท่าเรือเป็นลักษณะปัญหาที่สามารถพบได้ทั่วไปในท่าเรือและกลายเป็นสาเหตุที่จำกัดประสิทธิภาพการทำงานของท่าเรือและส่งผลกระทบต่อผู้ประกอบการรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ภายในประเทศที่รับช่วงต่อการขนส่งสินค้าจากการขนส่งทางทะเลอย่างมาก ปัญหาดังกล่าวสามารถเกิดได้จากความไม่แน่นอนของปริมาณการจราจรที่เข้าสู่ท่าเรือและจำนวนช่องทางการให้บริการที่ไม่เหมาะสม (Xu et al., 2021) เส้นทางที่มีการใช้ร่วมกันของรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์และยานพาหนะประเภทอื่นเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดการชะลอตัวของกระแสการจราจรในเส้นทางที่มุ่งหน้าเข้าสู่ท่าเรือ (Essi et al., 2021) โดย Saharidis and Konstantzos (2018) ได้ศึกษาพบว่าจำนวนช่องจราจรและความสามารถในการดำเนินงานของประตูที่ไม่เหมาะสมกับปริมาณรถบรรทุกที่เข้าสู่ท่าเรือเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาการติดขัด สอดคล้องกับ Panida and Hussen (2021) ที่พบว่าประสิทธิภาพการทำงานของประตูตรวจสอบและการจัดสรรช่องจราจรที่เหมาะสมกับประเภทของยานพาหนะที่เข้ามาเป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยให้จัดระเบียบและบรรเทาความแออัดที่เกิดขึ้น Wang et al. (2018) ได้ศึกษาปัญหาการเข้าแถวคอยของรถบรรทุกโดยพบว่าปัญหาหลักของแถวคอยที่เกิดขึ้นเกิดจากไม่มีการจัดระเบียบประเภทของยานพาหนะที่แตกต่างกันในเส้นทาง การจัดสรรจำนวนช่องจราจรที่ไม่เหมาะสมตามช่วงเวลา อีกทั้ง Zhao et al. (2015) ได้ศึกษาพบว่า การควบคุมสัญญาณไฟจราจรตามปริมาณกระแสการจราจรที่มุ่งหน้าเข้าสู่ท่าเรือช่วยให้สามารถแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยเฉพาะพื้นที่ที่มีขนาดจำกัดเช่นประตูทางเข้าท่าเรือ และ Lu et al. (2018) นำเสนอการเปลี่ยนทิศทางการจราจรในช่วงสถานการณ์วิกฤตโดยเฉพาะช่องจราจรที่มีการใช้งาน

น้อยสามารถเพิ่มปริมาณการไหลของกระแสจราจรและลดความแออัดในเส้นทางได้ การรวมกันของปัจจัยเหล่านี้ทั้งหมดส่งผลให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัดที่ประตูทางเข้าออกอย่างรุนแรง อุตสาหกรรมท่าเรือจึงเผชิญกับความท้าทายในการเพิ่มขีดความสามารถในการบริหารจัดการความแออัดอย่างมีประสิทธิภาพ (Panida & Hussen, 2021)

5.2 แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค

เป็นหนึ่งในการรูปแบบการจำลองสถานการณ์ที่ได้รับความนิยมสำหรับนำมาใช้ในงานด้านวิศวกรรมจราจรเนื่องจากแบบจำลองสามารถนำเสนอผลลัพธ์จากพฤติกรรมของการจราจรที่มีความซับซ้อนได้อย่างหลากหลายและตรงตามความต้องการ เพื่อความถูกต้องของแบบจำลองจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามและต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองก่อนนำไปใช้งาน โดยแบบจำลองมีความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่สามารถระบุขอบเขตชัดเจนได้ โดยที่ต้องกำหนดข้อมูลที่แบบจำลองต้องการเช่น พฤติกรรมการขับขี่ ปริมาณกระแสการจราจรและลักษณะของเส้นทาง (ธีรดนัย อินดี และ จำรัส พิทักษ์ศฤงคาร, 2560)

5.3 โปรแกรม Simulation of Urban MObility

โปรแกรม Simulation of Urban MObility หรือ SUMO เป็นโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค ที่มีความสามารถในการสร้างโครงข่ายของเส้นทางการจราจรรูปแบบต่างๆ เช่น ทางถนน ทางราง เพื่อจำลองและวัดผลลัพธ์การเคลื่อนที่ของประเภทยานพาหนะในเส้นทาง (Archana et al., 2022) โดยอาศัยข้อมูลพิกัดเส้นทางและ พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ โดย Wongchavalidkul and Siewwuttanagul (2021) โดยโปรแกรม SUMO เป็นโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นสูงและสามารถปรับเปลี่ยนการทำงานเพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่หลากหลายของผู้ใช้งานได้และมีจุดเด่นคือความรวดเร็วในการสร้างแบบจำลองจากชุดคำสั่งที่

โปรแกรมมีให้ (ชัยวัฒน์ ใหญ่บัก และปรเมศวร์ เหลือเทพ, 2558) สามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์ทางเลือกเส้นทางและการพยากรณ์การจราจรตามช่วงเวลา เช่น การนำมาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้นในโครงข่ายเส้นทางเพื่อหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Josep, 2013)

6. วิธีดำเนินการวิจัย

6.1 รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงประยุกต์ โดยการประยุกต์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคที่พัฒนาขึ้นมาวิเคราะห์ความไวของแบบจำลองเพื่อให้ทราบปริมาณการจราจรที่สามารถรองรับได้และทดสอบเพิ่มระดับค่าปัจจัยเพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2) การคัดเลือกพื้นที่ศึกษาและการเก็บรวบรวมข้อมูล 3) การพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 4) การวิเคราะห์ปัจจัยความแออัดที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการดำเนินการของประตูตรวจสอบ และ 5) สรุปและอภิปรายผล

6.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้กำหนดการเลือกกลุ่มประชากรโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) โดยการนับจำนวนของยานพาหนะทั้งหมด 4 ประเภทที่เคลื่อนที่เข้าสู่ประตูตรวจสอบหมายเลข 3 ได้แก่ 1. รถยนต์นั่งส่วนบุคคล 2. รถบัส 3. รถพ่วง และ 4. รถกึ่งพ่วง (Office of Transport and Traffic Policy and Planning, 2022) ที่เคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่ประตูตรวจสอบในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา (13:00-19:00 น.) เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มียะเวลารอคอยเฉลี่ยและความยาวเฉลี่ยแถวคอยสูงกว่าค่าเฉลี่ย

6.3 เครื่องมือวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่องมือสำหรับการ

ทดลองได้แก่ 1) แบบสังเกตและบันทึกข้อมูลเพื่อรวบรวมข้อมูลภาคสนาม การบันทึกภาพเคลื่อนไหวด้วยกล้องดิจิทัล 2) การวิเคราะห์ความแปรปรวนและของปัจจัย (ANOVA) และ การวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณ ((MANOVA)) ด้วยโปรแกรม XLSTAT และ 3) แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคด้วยโปรแกรม Simulation of Urban MObility รุ่น Version 1.20.0 ที่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองโครงข่ายเส้นทางและการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในช่วงเวลาไม่ต่อเนื่องและเป็นซอฟต์แวร์ที่อนุญาตให้ผู้ที่สนใจสามารถใช้งานได้แบบไม่มีค่าใช้จ่าย (Open source) (โชติรส นพพลกรัง และคณะ., 2564) เครื่องมือทั้งสองกลุ่มจะถูกนำมาใช้ร่วมกัน ดังกล่าวข้างต้นจะถูกนำมาใช้ร่วมกันเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยความแออัดที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการดำเนินการของประตูตรวจสอบต่อไป

6.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการจราจรด้วยวิธีการบันทึกวิดีโอรวมกับการใช้แบบฟอร์มการจดบันทึกพฤติกรรมเคลื่อนที่ของยานพาหนะ การเปลี่ยนช่องจราจร ทิศทางการจราจรและปริมาณการจราจรในแต่ละช่องทาง ณ บริเวณทางเข้าประตูตรวจสอบหมายเลข 3 และเส้นทางโดยรอบ โดยปัจจุบันลักษณะทางกายภาพของเส้นทางแบ่งเป็นถนนสองฝั่งเกาะกลางถนน ยานพาหนะในแต่ละฝั่งมีช่องจราจรจำนวน 3 ช่องทางและมีทิศทางการเคลื่อนที่สวนกัน แต่ละฝั่งมีช่องจราจรจำนวน 3 ช่องทาง มีความกว้างของช่องจราจรเท่ากับช่องจราจรทั่วไป คือ 3.30 เมตร ยานพาหนะส่วนใหญ่ใช้ความเร็วการไหลแบบอิสระโดยมีขีดจำกัดความเร็วของถนนเท่ากับ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระยะทางจากถนนสายหลักมุ่งหน้าเข้าสู่ประตูตรวจสอบจะมีระยะทางรวมประมาณ 6.5 กิโลเมตร มีทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร (ภาพที่ 3) ผู้วิจัยแบ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็น 24 ช่วงเวลา ช่วงเวลาละ 15 นาที ตั้งแต่วันที่ 1-31 ตุลาคม

พ.ศ. 2566 ในช่วงเวลา 13:00-19:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่นสูงเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาแบบจำลองฐาน (Base case) สอดคล้องกับ วรรณณิสรา กมลลิ้มสกุล และจำรัส พิทักษ์ศฤงคาร (2561) กล่าวว่าการรวบรวมข้อมูลปริมาณการจราจรในช่วงเวลาที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่นเพื่อนำไปใช้ทดสอบทางสถิติก่อนนำไปใช้เป็นข้อมูลฐานสำหรับการสร้างแบบจำลองฐาน โดยปัจจุบันประตูตรวจสอบหมายเลข 3 มีระยะเวลาการคอยเฉลี่ยของยานพาหนะเท่ากับ 662.08 วินาที และ ความยาวแถวคอยเฉลี่ยเท่ากับ 348.46 เมตร

6.5 การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้กำหนดพื้นที่การศึกษาโครงข่ายเส้นทางการจราจรที่มุ่งหน้าเข้าสู่ท่าเรือแหลมฉบัง ณ บริเวณหน้าประตูตรวจสอบรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ หมายเลข 3 เนื่องจากเป็นเส้นทางหลักที่รถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์จะเลือกใช้เพื่อมุ่งหน้าเข้าสู่ท่าเรือแหลมฉบัง อีกทั้งประตูตรวจสอบหมายเลข 3 ทำหน้าที่เชื่อมโยงกระแสการจราจรที่มุ่งหน้าจากถนนสุขุมวิททางทิศใต้และทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 ทางทิศเหนือ (ภาพที่ 4) ยานพาหนะส่วนใหญ่จึงเลือกใช้เส้นทางหลักเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการติดเข้าสู่ท่าเรือ อย่างไรก็ตามเส้นทางดังกล่าวเป็นเส้นทางที่ต้องใช้ร่วมกันระหว่างยานพาหนะส่วนบุคคลและรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์และมีทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรส่งผลให้เกิดสภาพการจราจรแบบคอขวดและช่องจราจรมีลักษณะอึดอัดมากเมื่อเทียบกับเส้นทางอื่นในบริเวณใกล้เคียงจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นพื้นที่การศึกษาสำหรับงานวิจัยครั้งนี้

6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

6.6.1 การสร้างโครงข่ายถนนจากข้อมูลภูมิศาสตร์สารสนเทศ

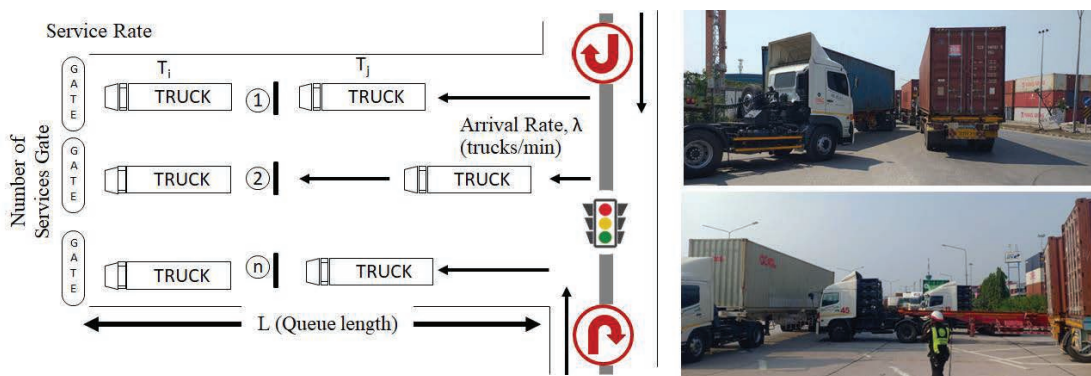
เพื่อให้ได้รับข้อมูลทางกายภาพที่มีความถูกต้อง ผู้วิจัยเลือกนำเข้าข้อมูลโครงข่ายถนนจากโปรแกรมภูมิศาสตร์สารสนเทศ QGIS ที่มีความสามารถในการเชื่อมโยงฐานข้อมูลกับ Google Maps สามารถใช้ในการอ้างอิงโครงสร้างและมาตราระยะทางของถนน โดยมีข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ 1) ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของถนน ได้แก่ จำนวนช่องจราจร ความกว้างช่องจราจร ความกว้างเกาะกลาง ความกว้างของไหล่ทาง ทิศทางการจราจร และ 2) ลักษณะการจราจร ได้แก่ จำนวนยานพาหนะ ความเร็วของยานพาหนะ พฤติกรรมการแซง พฤติกรรมการหยุด สัดส่วนการเลี้ยวของยานพาหนะ ความยาวแถวคอยที่เกิดขึ้นบริเวณทางแยกและข้อมูลรอบเวลาสัญญาณไฟจราจร

6.6.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลการควบคุมการจราจรบริเวณทางแยกด้วยสัญญาณไฟจราจร

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลปริมาณการจราจรและรอบสัญญาณไฟจราจรที่มีการใช้งานปัจจุบันในช่วงเวลาที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่นสูงและการจราจรเข้าสู่สภาวะอึดอัดตั้งแต่วันที่ 13:00-19:00 น. ในลักษณะรูปแบบทางแยกเดี่ยวพบว่ารอบสัญญาณไฟจราจรใช้รอบสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ตลอดช่วงเวลา อย่างไรก็ตามปริมาณยานพาหนะที่เคลื่อนที่เข้าสู่ประตูตรวจสอบในแต่ละทิศทางกลับมีปริมาณที่แตกต่างกันโดยพบว่าปริมาณยานพาหนะที่มาจากทางทิศเหนือ (ทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 และถนนซอยนิคมแหลมฉบัง 2) มีปริมาณยานพาหนะสูงที่สุด 662 คันต่อชั่วโมง รองลงมาได้แก่ทางทิศใต้ (ถนนสุขุมวิท) มีปริมาณยานพาหนะเฉลี่ย 363 คันต่อชั่วโมง สำหรับสัญญาณไฟของประตูตรวจสอบที่ 3 จะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงต่อ 1 รอบสัญญาณไฟระยะเวลารวมเท่ากับ 392 วินาทีต่อรอบ และ 2 ช่วงต่อ 1 รอบสัญญาณไฟ



ภาพที่ 3 โครงข่ายเส้นทางเข้าสู่ประตูตรวจสอบหมายเลข 3
ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 4 ลักษณะของพื้นที่ ณ ทางแยกประตูตรวจสอบหมายเลข 3
ที่มา : ผู้วิจัย

6.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย

จำแนกกลุ่มของข้อมูลออกเป็น 5 กลุ่มตามปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดำเนินการของประตูตรวจสอบหมายเลข 3 ณ ท่าเรือแหลมฉบัง แต่ละกลุ่มจะถูกกำหนดเกณฑ์การทดสอบได้แก่ 1) ประเภทของยานพาหนะในช่องจราจร (ปัจจัย A) ทดสอบโดยการเพิ่มปริมาณยานพาหนะที่ใช้เส้นทางร่วมกันรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ 2) ทิศทางของช่องจราจร (ปัจจัย B) ทดสอบโดยการเพิ่มทิศทางของช่องจราจรที่เลี้ยวเข้าสู่ท่าเรือ 3) รอบสัญญาณไฟจราจร (ปัจจัย C) ทดสอบโดยการเพิ่มรอบสัญญาณไฟจราจร

ในเส้นทางที่เลี้ยวเข้าสู่ท่าเรือ 4) ความสามารถในการดำเนินงานของประตู (ปัจจัย D) ทดสอบโดยการเพิ่มระยะเวลาการดำเนินงานของประตูตรวจสอบแต่ละด่านและ 5) จำนวนช่องจราจร (ปัจจัย E) ทดสอบโดยการเพิ่มจำนวนช่องจราจรที่เลี้ยวเข้าสู่ท่าเรือ ตามผลลัพธ์การวิเคราะห์ความไวของแบบจำลอง จำลองผลลัพธ์ผ่านแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Gracia et al., 2017) กำหนดสมมุติฐานการศึกษาว่าระยะเวลาการรอคอยเฉลี่ยและความยาวแถวคอยเฉลี่ยไม่แตกต่างกันของทุกกลุ่มที่ทำการทดสอบ นำผลลัพธ์ค่าความแปรปรวนจากการจำลองสถานการณ์

ของแต่ละกลุ่มมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มด้วยเทคนิค ANOVA ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบเป็นกลุ่ม (ศิริวรรณ องปราบปาม และดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน, 2560) กำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานที่นิยมนำมาใช้ในการดำเนินงานวิจัย (จารุวรรณ วิโรจน์, 2558)

7. ผลการวิจัย

7.1 การพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

งานวิจัยนี้พัฒนาแบบจำลองโครงข่ายถนนโดยอ้างอิงจากเส้นทางโดยรอบที่มุ่งหน้าสู่ทางแยกประตูตรวจสอบหมายเลข 3 ในรูปแบบทางแยกแบบประสานสัมพันธ์ โดยการสร้างแนวถนนเชื่อมโยง (links) กับจุดเชื่อมต่อ (node) เพื่อทำให้เกิดโครงข่ายถนนผ่านโปรแกรม QGIS รุ่น 3.16.2 และเชื่อมต่องานข้อมูลมาตราวัดระยะทางจาก Google map โดยข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดจะถูกแปลงเป็นภาษา HTML เพื่อนำไปประมวลผลในโปรแกรม SUMO ต่อไป (ภาพที่ 5) งานวิจัยนี้อ้างอิงวิธีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้เกณฑ์การเปรียบเทียบแบบ Design Manual for Roads and Bridges (DMRB) เพื่อคำนวณค่า Geoffrey E. Havers หรือ GEH โดยพิจารณาความแตกต่างสัมบูรณ์ระหว่างปริมาณการจราจรของแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าสำรวจภาคสนาม

ตารางที่ 1 แสดงผลลัพธ์การเกณฑ์การเปรียบเทียบแบบ DMRB พบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้กล่าวคือมีค่า GEH น้อยกว่า 5 สอดคล้องกับ Chanchaichujit (2016) ที่ได้ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองสภาพการจราจรที่จริงที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับค่าสำรวจปริมาณการจราจร โดยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีค่า GEH น้อยกว่า 5 ดังนั้นแบบจำลองที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจึงจึง

มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์สภาพการจราจรได้ต่อไป (Islam, 2018)

7.2 การวิเคราะห์ความไวของแบบจำลองสภาพการจราจร

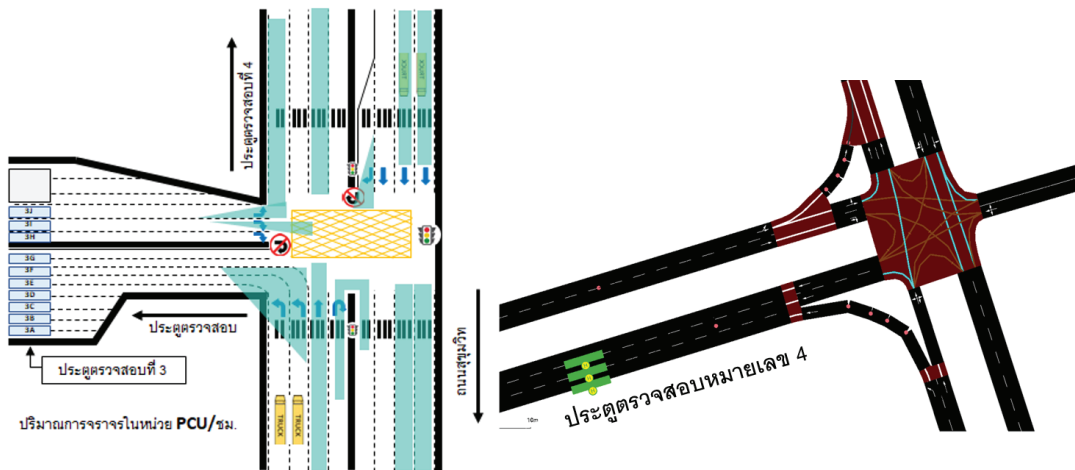
การวิเคราะห์ความไวดำเนินการเพื่อทดสอบกระบวนการทำงานของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน โดยที่อัตราการมาถึงของรถบรรทุกจะถูกเพิ่มขึ้น 10%-100% ผลลัพธ์พบว่าความยาวเฉลี่ยแถวคอยพบว่าเมื่อปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้น 10%-30% จะมีผลลัพธ์เท่ากับ 383-546 เมตร จากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้น 40% โดยมีความยาวเฉลี่ยแถวคอยเท่ากับ 492-679 เมตร โดยเมื่อปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 50%-100% จะมีความยาวเฉลี่ยแถวคอยจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเท่ากับ 564-782 เมตร ตามลำดับ (แสดงดังภาพที่ 6) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อแบบจำลองสภาพการจราจรมีความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 10%-30% โดยยังสามารถทำงานได้ตามปกติ แสดงดังภาพที่ 6-7

7.3 ผลลัพธ์การคำนวณวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของการตัดสินใจ ด้วยเทคนิค ANOVA

ตารางที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลารอคอยเฉลี่ยและความยาวเฉลี่ยแถวคอยเมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนปัจจัยที่ทดสอบ 10%-30% ของปัจจัยทั้ง 5 ตัว ด้วยสถิติ one-way ANOVA พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของเวลารอคอยเฉลี่ย (21.41, Sig 0.0013) และ ความยาวเฉลี่ยแถวคอย (4.786, Sig 0.0019) ตามลำดับ โดยหากพิจารณาค่า F คำนวณจากการทดสอบปัจจัยทั้ง 5 กลุ่มที่มีค่ามากกว่าค่า Fวิกฤตและค่านัยสำคัญทางสถิติ (Sig.) น้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.5 จึงปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 แสดงว่ามีข้อมูลอย่างน้อย 1 คู่ที่มีผลลัพธ์แตกต่างกัน กล่าวคือมีปัจจัยอย่างน้อยจำนวน 1 ปัจจัยที่มีผลลัพธ์ระยะเวลารอคอยเฉลี่ยและความยาวแถวคอยเฉลี่ยแตกต่าง

กลุ่มที่ทำการทดสอบอื่นๆ โดยพบว่าเมื่อตัดชุดข้อมูลของกลุ่มที่ 1 (ปัจจัย A) ออก พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของเวลารอคอยเฉลี่ย (1.4467, Sig 0.252) และ ความยาวเฉลี่ยแถวคอย (4.786, Sig 0.234) โดยหากพิจารณาค่า F คำนวณจากการทดสอบปัจจัยทั้ง 5 กลุ่มที่มีค่าน้อยกว่าค่า F

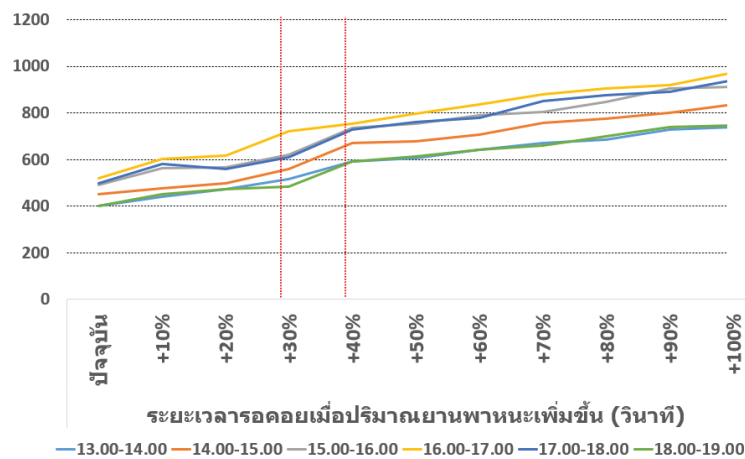
วิกฤตและค่านัยสำคัญทางสถิติ (Sig.) มากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.5 จึงยอมรับ H_0 กล่าวคือ ระยะเวลาการรอคอยเฉลี่ยและความยาวแถวคอยเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของทุกกลุ่มที่ทำการทดสอบ



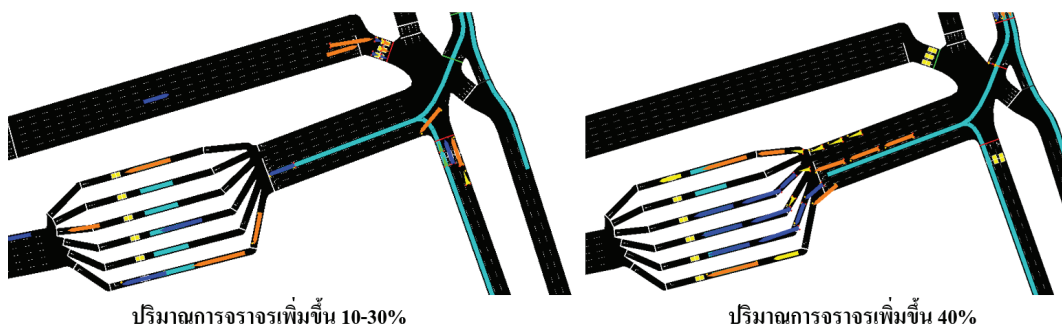
ภาพที่ 5 การสร้างโครงข่ายถนนด้วยโปรแกรม Simulation of Urban Mobility
ที่มา : ผู้วิจัย

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบความสอดคล้องระหว่างปริมาณจราจร

เวลา	ทิศ	ปริมาณยานพาหนะ		GEH	ผล	เวลา	ทิศ	ปริมาณยานพาหนะ		GEH	ผล
		สำรวจ	จำลอง					สำรวจ	จำลอง		
13:00-14:00	เหนือ	552	498	2.357	ผ่าน	16:00-17:00	เหนือ	662	609	2.102	ผ่าน
	ใต้	303	252	3.062	ผ่าน		ใต้	363	309	2.946	ผ่าน
14:00-15:00	เหนือ	577	545	1.351	ผ่าน	17:00-18:00	เหนือ	629	711	3.168	ผ่าน
	ใต้	317	276	2.381	ผ่าน		ใต้	346	360	0.745	ผ่าน
15:00-16:00	เหนือ	601	577	0.989	ผ่าน	18:00-19:00	เหนือ	654	778	4.634	ผ่าน
	ใต้	330	293	2.096	ผ่าน		ใต้	359	399	2.055	ผ่าน



ภาพที่ 6 ระยะเวลารอคอยเฉลี่ยเมื่อปริมาณยานพาหนะเพิ่มขึ้น 10%-100%
ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 7 แบบจำลองสภาพการจราจรปริมาณยานพาหนะ 10%-30% และ 40% โดยผู้วิจัย
ที่มา : ผู้วิจัย

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์การทดสอบเวลารอคอยเฉลี่ยและความยาวเฉลี่ยแถวคอย 5 กลุ่ม (ก่อนตัด)

แหล่ง ความแปร ปรวม	เวลารอคอยเฉลี่ย						ความยาวเฉลี่ยแถวคอย					
	SS	df	MS	F Cal	F Cri	Sig	SS	df	MS	F Cal	F Cri	Sig
ภายใน กลุ่ม	249,307.5	4	62326.87	4.524	2.450	0.0013	70329.42	4	17582.36	4.786	2.450	0.0019
ระหว่าง กลุ่ม	1,584,027	115	13774.15				422446.5	115	3673.448			
รวม	1,833,334	119					492775.9	119				

ผ่านการรับรองคุณภาพจากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI.) อยู่ในกลุ่ม 2 สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์การทดสอบเวลารอคอยเฉลี่ยและความยาวเฉลี่ยแถวคอย 5 กลุ่ม (ก่อนตัด)

แหล่ง ความแปร ปรวน	เวลารอคอยเฉลี่ย						ความยาวเฉลี่ยแถวคอย					
	SS	df	MS	F Cal	F Cri	Sig	SS	df	MS	F Cal	F Cri	Sig
ภายใน กลุ่ม	249,307.5	4	62326.87	4.524	2.450	0.0013	70329.42	4	17582.36	4.786	2.450	0.0019
ระหว่าง กลุ่ม	1,584,027	115	13774.15				422446.5	115	3673.448			
รวม	1,833,334	119					492775.9	119				

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์การทดสอบเวลารอคอยเฉลี่ยและความยาวเฉลี่ยแถวคอย 4 กลุ่ม (หลังตัด)

แหล่ง ความแปร ปรวน	เวลารอคอยเฉลี่ย						ความยาวเฉลี่ยแถวคอย					
	SS	df	MS	F Cal	F Cri	Sig	SS	df	MS	F Cal	F Cri	Sig
ภายใน กลุ่ม	61506.74	3	20502.25	1.4467	2.7035	0.252	15797.29	3	5265.764	1.385	2.703	0.234
ระหว่าง กลุ่ม	1303764	92	14171.35				349547.3	92	3799.427			
รวม	1365271	95					365344.6	95				

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนรายปัจจัยของเวลารอคอยเฉลี่ย

ระยะเวลารอคอยเฉลี่ย						
Factor	df	SS	MS	p-value	%	Cum. (%)
C	1	174863.32	174863.32	0.000000003	35.10%	35.10%
E	1	128245.86	128245.86	0.000000061	25.74%	60.84%
B	1	89797.46	89797.46	0.000002346	18.03%	78.87%
D	1	105274.59	105274.59	0.000000494	21.13%	100.00%
Total	4	498181.23	498181.23	0.000002903	100%	

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนรายปัจจัยของความยาวแถวคอยเฉลี่ย

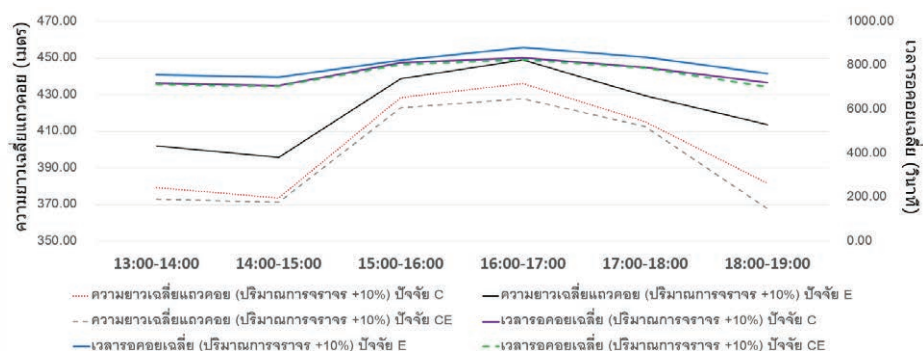
ความยาวแถวคอยเฉลี่ย						
Factor	df	SS	MS	p-value	%	Cum. (%)
C	1	491008.36	491008.36	0.000000074	37.82%	37.82%
E	1	324378.1	324378.1	0.000003793	24.99%	62.81%
D	1	266366.52	266366.52	0.000013728	20.52%	83.32%
B	1	216506.02	216506.02	0.000057784	16.68%	100.00%
Total	4	1298259	1298259	0.000075380	100%	

ตารางที่ 4 และ 5 แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนรายปัจจัยของเวลารอคอยเฉลี่ยและความยาวแถวคอยเฉลี่ยแบบรายปัจจัย พบว่าผลลัพธ์ของทั้งสองตารางเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือยิ่งปัจจัยที่นำมาทดสอบมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญจะส่งผลให้มีความแตกต่างจากแบบจำลองฐานสูงขึ้นไปตามไปด้วย โดยสามารถเรียงลำดับจากความแตกต่างของค่า P ได้ ดังนี้ 1. รอบสัญญาณไฟจราจร (ปัจจัย C),

2. จำนวนช่องจราจร (ปัจจัย E), 3. ความสามารถในการดำเนินงานของประตู (ปัจจัย D) และ 4. ทิศทางของช่องจราจร (ปัจจัย B) สอดคล้องกับงานวิจัยของวรรณนิสา กมลลัมสกุล และจำรัส พิทักษ์ศฤงคาร (2561) ที่กล่าวว่ารอบสัญญาณไฟจราจรเป็นสาเหตุของปัญหาคอขวดที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการจราจรบริเวณที่มีทางแยกโดยตรง

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ปัจจัยความแออัดด้วยเทคนิค One-way MANOVA

Source	Wilks' test (P-value)	Eigenvectors		Source	Wilks' test (P-value)	Eigenvectors	
		Queue	Waiting			Queue	Waiting
BC	0.069	0.000	0.126	CD	0.292	0.000	0.056
BD	0.756	0.000	0.013	CE	0.032	0.165	0.000
BE	0.525	0.029	0.000	DE	0.597	0.023	0.000

**ภาพที่ 8** ผลลัพธ์การเปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้นร้อยละ 10

ที่มา : ผู้วิจัย

ผ่านการรับรองคุณภาพจากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI.) อยู่ในกลุ่ม 2 สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์

ตารางที่ 6 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณ (One-way MANOVA) เนื่องงานวิจัยนี้คาดว่าจากระยะเวลาการรอคอยเฉลี่ยและความยาวแถวคอยเฉลี่ยมีความสัมพันธ์กันโดยตรงดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้การทดสอบ Wilks เพื่อตัดสินว่าแต่ละคู่ปัจจัยส่งผลต่อการตอบสนองที่แตกต่างกันอย่างไร โดยหากพิจารณา P-Value ของคู่ของปัจจัยที่นำมาทดสอบจะพบหลักฐานที่สำคัญสำหรับการโต้ตอบ 1 คู่ได้แก่ 1. รอบสัญญาณไฟจราจร (ปัจจัย C), 2. จำนวนช่องจราจร (ปัจจัย E) กล่าวคือค่า P-value ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.032 ซึ่งต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงสามารถสรุปได้ว่าการโต้ตอบของผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องจากปัจจัย C และ E มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตามในมิติระยะเวลาการรอคอยเฉลี่ยและความยาวแถวคอยเฉลี่ย (ภาพที่ 8) โดยมีความเสี่ยงในการปฏิเสธผลลัพธ์ในขณะที่มีโอกาสเป็นจริงต่ำกว่า 3.21% โดยการจับคู่ของปัจจัยทิศทางของช่องจราจร (ปัจจัย B) และ ความสามารถในการดำเนินงานของประตู (ปัจจัย D) ถือเป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุดในทุกตัวแปรการตอบกลับ (ค่า P-value เท่ากับ 0.756) โดยผลรวมค่า Eigen ของความยาวแถวคอยมีการโต้ตอบของคู่ปัจจัยทั้งหมดเท่ากับ 0.217 และเวลารอคอยโดยเฉลี่ยมีความแตกต่างน้อยที่สุดในปัจจัยส่วนใหญ่เท่ากับ 0.195

8. สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความแออัดในเส้นทางเข้าสู่ประตูตรวจสอบรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ ณ ท่าเรือแหลมฉบัง งานวิจัยนี้ได้เก็บรวบรวมข้อมูลโครงข่ายถนนจากข้อมูลภูมิศาสตร์สารสนเทศและข้อมูลการควบคุมการจราจรบริเวณทางแยกด้วยสัญญาณไฟจราจรเพื่อนำมาใช้พัฒนาแบบจำลองในเส้นทางเข้าสู่ประตูตรวจสอบที่ 3 โดยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีค่าการเปรียบเทียบปริมาณจราจร น้อยกว่า 5 จึงมีความน่าเชื่อถือและสามารถ

รองรับปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 10%-30% โดยยังสามารถทำงานได้ตามปกติจากผลลัพธ์การวิเคราะห์ความไวของแบบจำลอง

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของปัจจัยด้วยเทคนิค ANOVA พบว่าการที่ค่า F คำนวณมีค่าน้อยกว่า Fวิกฤตและค่านัยสำคัญทางสถิติ (Sig.) มากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.5 จึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความแออัดในเส้นทางเข้าสู่ประตูตรวจสอบรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์เมื่อเรียงตามลำดับจากค่า p-value น้อยไปมาก ได้แก่ 1. รอบสัญญาณไฟจราจร (ปัจจัย C), 2. จำนวนช่องจราจร (ปัจจัย E), 3. ความสามารถในการดำเนินงานของประตู (ปัจจัย D) และ 4. ทิศทางของช่องจราจร (ปัจจัย B) สอดคล้องกับ Seksan et al. (2021) พบว่าการปรับเปลี่ยนรอบจังหวะของสัญญาณไฟจราจรใหม่ตามกระแสจราจรส่งผลให้เวลารอคอยเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลง

การค้นพบที่สำคัญของการศึกษานี้คือแนวทางวิเคราะห์การโต้ตอบของปัจจัยในมิติระยะเวลารอคอยและจำนวนแถวคอยเฉลี่ยด้วยเทคนิค On-Way MANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบหลักฐานที่สำคัญสำหรับการโต้ตอบ 1 คู่ได้แก่ รอบสัญญาณไฟจราจร (ปัจจัย C) และ จำนวนช่องจราจร (ปัจจัย E) ที่มีค่า Wilks' test เท่ากับ 0.032 จึงสามารถสรุปได้ว่าทั้งสองปัจจัยที่กล่าวไปข้างต้นมีความสัมพันธ์กันโดยตรง ดังนั้นหากต้องการลดความแออัดที่เกิดขึ้นจำเป็นจะต้องนำทั้งสองปัจจัยมาเป็นปัจจัยหลักในการพิจารณาออกแบบนโยบายการแก้ไขปัญหาซึ่งอาจแตกต่างกันไปในบริบทของแต่ละท่าเรือ สอดคล้องกับ Wang et al. (2018) พบว่า การกำหนดเลนแบบย้อนกลับได้ตามความต้องการในการจราจร สามารถเพิ่มจำนวนประตูให้เหมาะสมและลดความแออัดที่ประตูเทอร์มินัลได้อย่างมีนัยสำคัญ และ Lu et al. (2018) ได้พัฒนาวิธีการเปลี่ยนทิศทางช่องจราจรที่เหมาะสมกับรอบสัญญาณไฟจราจร สามารถเพิ่ม

ประสิทธิภาพการไหลของจราจรและลดความแออัดที่ทางแยกก่อนเข้าสู่ท่าเรือได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แออัดของการจราจรในพื้นที่อุตสาหกรรมอื่นๆ ของประเทศไทย

9.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในสถานการณ์ที่มีปัญหาการจราจรติดขัดบริเวณหน้าประตูตรวจสอบในช่วงโมงเร่งด่วน ดังนั้นควรมีการพิจารณาปัจจัยด้านอื่นๆเพิ่มเติมในช่วงนอกเวลาเร่งด่วนหรือเมื่อมีการนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อุตสาหกรรมอื่นๆ ต่อไป

9. ข้อเสนอแนะ

9.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ผลการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงวิธีการดำเนินงานสำหรับการกำหนดนโยบายของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการควบคุมโครงข่ายเส้นทางการจราจรและการบริหารจัดการปัญหาความ

เอกสารอ้างอิง

- โชติรส นพพลกรัง, ทิพย์สุตา กุมพันธ์, ณัฐกร โต๊ะสิงห์, สาธิต สร้อยเพชร และสุพัตรา รัตนพันธ์. (2564). การศึกษาความเป็นไปได้เพื่อควบคุมการจราจรบนทางแยก: กรณีศึกษา ทางแยกหน้าศรีพทุธาลัย ราชภัฏสัมนาคาร อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ*, 1(2), 53–61.
- จารุวรรณ วิโรจน์. (2558). การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและการเปรียบเทียบพหุคูณในงานวิจัยทางสาธารณสุข: กรณีตัวอย่างการป้องกันโรคไข้เลือดออก. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 34(3), 304–311.
- ชัยวัฒน์ ใหญ่บก และปรเมศวร์ เหลือเทพ. (2558). การวิเคราะห์การจัดการจราจรของชุดทางแยกต่อเนื่อง: กรณีศึกษาเทศบาลนครหาดใหญ่. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม*, 8(1), 103–114.
- ธีรดนัย อินดี และจำรัส พิทักษ์ศฤงคาร. (2560). การวิเคราะห์ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบผสมผสานโดยใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค: กรณีศึกษา ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง. *วิศวกรรมลาดกระบัง*, 38(1), 1–14.
- วรรณนิสา กมลสัมสกุล และจำรัส พิทักษ์ศฤงคาร. (2561). การวิเคราะห์จราจรทางแยกแบบไหลต่อเนื่องผสมผสานกับทางแยกต่างระดับโดยแบบจำลองจราจรระดับจุลภาค: กรณีศึกษาแยกหน้าโรงเรียนดัดดรุณี จ.ฉะเชิงเทรา. *วิศวกรรมลาดกระบัง*, 35(1), 23–32.
- ศิริวรรณ องปราบปาม และดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน. (2560). การกำหนดมาตรฐานสำหรับการตัดสินใจสีลิปสติกด้วย Attribute Gauge R&R. *Journal of Engineering and Digital Technology (JEDT)*, 5(2), 5–9.
- Archana N., Choudhury M., & Singh S. (2022). An empirical study on parameters affecting traffic stream variables under rainy conditions. *The Proceedings of 14th International Conference on COMMunication Systems & NETWORKS (COMSNETS)*. 818–823. <https://doi.org/10.1109/COMSNETS53615.2022.9668377>.

- Chanchaichujit, J., Saavedra-Rosas, J., Quaddus, M., & West, M. (2016). The use of an optimisation model to design a green supply chain: A case study of the Thai rubber industry. *The International Journal of Logistics Management*, 27(2), 595–618. <https://doi.org/10.1108/IJLM-10-2013-0121>.
- Essi, M. S., Chen, Y., Loh, H. S., & Gu, Y. (2021). Enhancing productivity of ship chandlers' trucks at the port for sustainability. *Maritime Business Review*, 7(3), 222–238. doi/10.1108/MABR-12-2020-0068/full/html.
- Gracia, M. D., González-Ramírez, R. G., & Mar-Ortiz, J. (2017). The impact of lanes segmentation and booking levels on a container terminal gate congestion. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 29, 403–432. <https://doi.org/10.1007/s10696-016-9256-4>.
- Islam, S. (2018). Simulation of truck arrival process at a seaport: Evaluating truck-sharing benefits for empty trips reduction. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 21(1), 94–112. <https://doi.org/10.1080/13675567.2017.1353067>.
- Josep, T. V. (2013). *Analysis and simulation of traffic management actions for traffic emission reduction* (Unpublished doctoral dissertation). Technische Universität Berlin, Berlin, Germany.
- Office of Transport and Traffic Policy and Planning. (2022). *Traffic volume at intersections in Bangkok in 2021*. Retrieved 10 May 2023, Form: https://data.bangkok.go.th/dataset/traffic_volume.
- Lu, T., Yang, Z., Ma, D., & Jin, S. (2018). Bi-level programming model for dynamic reversible lane assignment. *IEEE Access*, 6, 71592–71601. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2881290>.
- Panida, C., & Hussen, N. (2021). Impact of service policies on terminal gate efficiency: A simulation approach. *Cogent Business & Management*, 8(1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/23311975.2021.1975955>.
- Qu, W., Tao, T., Xie, B., & Qi, Y. (2021). A state-dependent approximation method for estimating truck queue length at marine terminals. *Sustainability*, 13(5), 1–18.
- Saharidis, G. K. D., & Konstantzos, G. E. (2018). Critical overview of emission calculation models in order to evaluate their potential use in estimation of greenhouse gas emissions from in-port truck operations. *Journal of Cleaner Production*, 185, 1024–1031. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.022>.
- Seksan, J., Anurak, S., Choosombat, C., Kumkrut, T., & Wongsuthep, S. (2021). The application of simulation technique in traffic lights timing for reducing the waiting time at Thakub Intersection, Muang District, Surat Thani Province. *Thai Industrial Engineering Network Journal*, 7(1), 15–22.

- Torteeka, T. (2011). *Cost analysis of queuing system for container vessel at port of Bangkok*. Thesis of the Degree of Master of Economics, Kasetsart University.
- Tuntivejakul, U. (2015). *Application of congestion charge to reduce congestion within Laem Chabang port*. Thesis of the Degree of Master, Burapha University.
- Wang, W., Jiang, Y., Peng, Y., Zhou, Y., & Tian, Q. (2018). A simheuristic method for the reversible lanes allocation and scheduling problem at smart container terminal gate. *Journal of Advanced Transportation*, 2018, 1–14.
- Wongchavalidkul, N., & Siewwuttanagul, S. (2021). Experiences of using open-source transport and traffic simulation software for transport and traffic studies in Thailand. *International Scientific Journal of Engineering and Technology (ISJET)*, 5(1), 11–19.
- Xu, B., Liu, X.-y., Yang, Y., Li, J., & Postolache, O. A. (2021). Optimization for a multi-constraint truck appointment system considering morning and evening peak congestion. *Sustainability*, 13(3), 1181.
- Zhang, X., Zeng, Q., & Yang, Z. (2019). Optimization of truck appointments in container terminals. *Maritime Economics & Logistics*, 21(1), 125–145.
- Zhao, J., Liu, Y., & Yang, X. (2015). Operation of signalized diamond interchanges with frontage roads using dynamic reversible lane control. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 51, 196–209. <https://doi.org/10.1016/J.TRC.2014.11.010>.