

## การวิเคราะห์รูปแบบสัญญาณไฟจราจรและระบบการจัดแถวคอยการเข้าประตูตรวจสอบ ของรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ ณ ท่าเรือแหลมฉบัง

ณัฐพงศ์ ชูโชติถาวร\* และไพโรจน์ ไร้ธนชลกุล

คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา

\*Corresponding author: natthapong\_ch@rmutto.ac.th

### บทคัดย่อ

ท่าเรือแหลมฉบังเป็นท่าเรือหลักที่สำคัญสำหรับกระบวนการนำเข้าและส่งออกสินค้าของประเทศไทย การเติบโตของท่าเรือและนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบังส่งผลให้เกิดปัญหาด้านการจราจรโดยรอบ โดยเฉพาะปัญหาการจราจรติดขัดบ่อยครั้งในบริเวณทางเข้าประตูตรวจสอบที่ 3 และ 4 เนื่องจากเป็นเส้นทางที่รถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ขนาดใหญ่จำเป็นต้องเคลื่อนที่ผ่านร่วมกับยานพาหนะประเภทอื่นจำนวนมากในบริเวณทางแยก และด้วยปัจจุบันมีการใช้รูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ รถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์จำเป็นต้องหยุดรอแม้ในกรณีที่ทิศทางอื่น ๆ มีปริมาณยานพาหนะจำนวนน้อยส่งผลให้รอบสัญญาณไฟจราจรไม่สัมพันธ์กับปริมาณรถในแต่ละทางแยก โดยเฉพาะในช่วงที่มีปริมาณรถหนาแน่น ทำให้เกิดความล่าช้าและเกิดปัญหาแถวคอยสะสม จากเหตุผลข้างต้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการวิเคราะห์เพื่อปรับรูปแบบระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรใหม่ โดยการประยุกต์การกำหนดระยะเวลาสัญญาณจราจรร่วมกับระบบการจัดแถวคอยของรถบรรทุกก่อนเข้าประตูตรวจสอบโดยใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมจำลองสภาพจราจรในระดับจุลภาค Simulation of Urban MObility รุ่น 1.14.1 ในบริเวณทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3 และ 4 ณ ท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี ผลการวิจัยพบว่าทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3 ควรปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรด้วยวิธีการใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอยบนถนนของทางแยกปลายทางได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด คือ 1) ความยาวแถวคอยเฉลี่ยที่ทางแยกลดลงร้อยละ 3.9 และ 2) ความยาวเฉลี่ยแถวคอย ณ ประตูตรวจสอบลดลงร้อยละ 11.84 สำหรับทางแยกประตูตรวจสอบที่ 4 ควรปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรด้วยวิธีการรอบสัญญาณไฟสีร่วมกับระบบจัดการแถวคอยแบบรวมกลุ่มได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด คือ 1) ความยาวแถวคอยเฉลี่ยที่ทางแยกลดลงร้อยละ 36.77 และ 2) ความยาวเฉลี่ยแถวคอย ณ ประตูตรวจสอบ ลดลงร้อยละ 91.51 ประโยชน์ของการวิจัยครั้งนี้สามารถให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับงานด้านการจราจรสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการกำหนดมาตรฐานรอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมในพื้นที่ท่าเรือแหลมฉบังและพื้นที่อื่น ๆ ได้ต่อไป

คำสำคัญ : 1. สัญญาณไฟจราจร 2. แถวคอย 3. แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค 4. ท่าเรือแหลมฉบัง 5. โลจิสติกส์

## **Analysis of the traffic light cycle and inspection gate queuing system of container trucks at Laem Chabang Port**

Natthapong Chuchottaworn\* and Pairoj Raothanachonkun

*Faculty of Logistics, Burapha University, Chonburi 20131, Thailand*

*\*Corresponding author: natthapong\_ch@rmutto.ac.th*

### **Abstract**

Laem Chabang Port plays a crucial role as the main import and export hub in Thailand. The growth of the port and surrounding industrial estates has led to traffic issues in the area, particularly frequent traffic jams at Gates 3 and 4 entrances during peak periods. Large trucks must navigate intersections with various vehicles. At present, a fixed traffic light pattern is in use. Container trucks need to stop, even when the volume in the other direction is low. This results in the traffic signal cycles being unrelated to the vehicle volume at each intersection, particularly during peak traffic periods, leading to delays and queue accumulation. After reviewing the results, the researcher developed a solution for analyzing and optimizing traffic light timing. This involves applying synchronized traffic signals alongside a truck queuing system before entering the inspection gate. The analysis is conducted using the Simulation of Urban MObility software (version 1.14.1) to model traffic scenarios at the microscopic level. Focused on the intersections at Inspection Gates 3 and 4 at Laem Chabang Port, Chonburi Province, the findings recommend improving the traffic signal at Gate 3 through Queue Storage Capacity. This approach yields the following results: 1) a 3.9% reduction in the average queue length at the intersection, and 2) an 11.84% decrease in the average queue length at the inspection gate. As for Gate 4, the traffic light should be improved using a Short Cycle Length and Pooled queuing management system, resulting in the following outcomes: 1) a 36.77% reduction in the average length of queues at intersections, and 2) a 91.51% decrease in the average queue length. The research findings can assist traffic agencies in establishing appropriate traffic light standards for Laem Chabang Port and other locations.

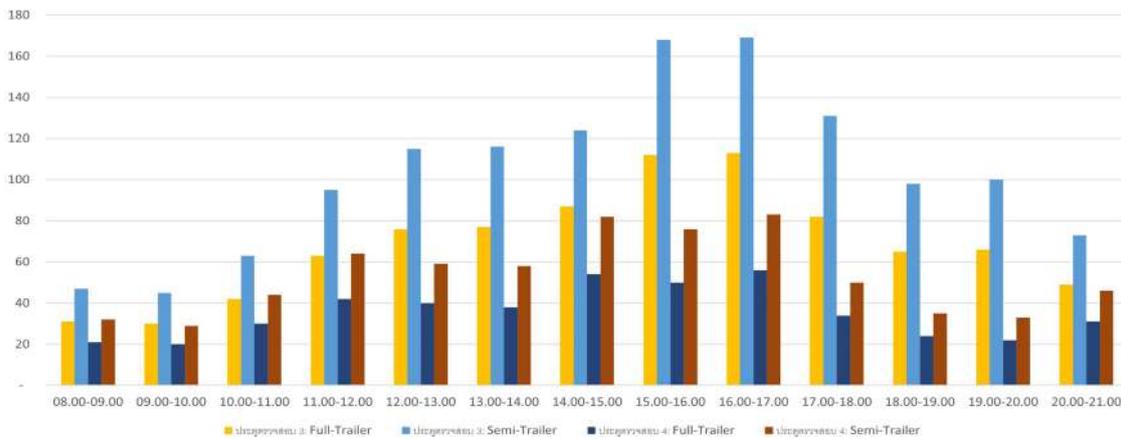
**Keywords:** 1. Traffic light 2. Queueing 3. Microscopic simulation 4. Laem Chabang Port 5. Logistics

**บทนำ**

การขนส่งทางทะเลเป็นรูปแบบการขนส่งสินค้าหลักของการค้าระหว่างประเทศและเศรษฐกิจโลก ดังนั้น ท่าเรือจึงเป็นจุดเชื่อมโยงที่สำคัญในห่วงโซ่อุปทานที่สามารถช่วยให้แต่ละประเทศสามารถขยายขอบเขตทางเศรษฐกิจไปได้ทั่วโลก (Magala & Sammons, 2008) จะเห็นได้ว่าในปี 2564 การค้าทางทะเลของโลกขยายตัว ร้อยละ 4.3 โดยมีสัดส่วนการขนส่งสินค้าทางทะเล คิดเป็นร้อยละ 80 ของปริมาณการค้าระหว่างประเทศทั้งหมด (Popa & Strer, 2016)

สำหรับประเทศไทย ท่าเรือแหลมฉบังเป็นท่าเรือหลักที่สำคัญสำหรับกระบวนการนำเข้าและส่งออกสินค้าของประเทศไทย สามารถเชื่อมโยงรูปแบบการขนส่งสินค้าจากท่าเรือไปยังรูปแบบการขนส่งอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่กระนั้นก็ตามความเจริญของท่าเรือแหลมฉบังและนิคมอุตสาหกรรมใกล้เคียงได้ส่งผลกระทบต่อให้เกิดปัญหาด้านการจราจร เช่น ปัญหาความแออัดและแถวคอยของรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ที่ประตูทางเข้าและภายในท่าเรือที่มีจำนวนมากกว่า 10,000 คันต่อวัน (Tuntivejakul, 2015) การจราจรติดขัดเกิดขึ้นอยู่บ่อยครั้งในบริเวณทางเข้าประตูตรวจสอบที่

3 และ 4 เนื่องจากเป็นเส้นทางที่รถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ขนาดใหญ่จำเป็นต้องเคลื่อนที่ผ่านร่วมกับยานพาหนะประเภทผ่านทางแยก ปัจจุบันทางแยกใช้รูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ (fixed time signal) ส่งผลให้รถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์จำเป็นต้องหยุดรอแม้ในกรณีที่ทิศทางอื่น ๆ มีปริมาณยานพาหนะจำนวนน้อย ส่งผลให้รอบสัญญาณไฟจราจรไม่สัมพันธ์กับปริมาณรถในแต่ละทางแยก (Kantanon, 2018) การควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลกระทบเป็นวงกว้าง (Suanchan & Pitaksringkarn, 2020) โดยเฉพาะช่วงเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟที่เป็นช่วงเวลาคับขันมีความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุที่ทางแยกสูง (Buahome, W. Satiennam, & T. Satiennam, 2020) การเลือกใช้สัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ในช่วงเวลาที่มีความหนาแน่นสูงอาจเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้รถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์เข้าสู่ประตูตรวจสอบล่าช้าและเกิดปัญหาแถวคอยสะสมจากการชะลอความเร็วหรือหยุดรถ (Indee & Pitaksringkarn, 2021) ในสภาพจราจรที่หนาแน่นจำเป็นต้องใช้วิธีการที่ต่างออกไปจากวิธีควบคุมที่มีอยู่เดิม โดยปัจจุบันมีจำนวนรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ที่เข้าประตูตรวจสอบที่ 3 และ 4 แสดงดังภาพที่ 1



**ภาพที่ 1** จำนวนรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ที่เข้าประตูตรวจสอบที่ 3 และ 4 (ที่มา : Natthapong Chuchottaworn)

ในภาพที่ 1 แสดงให้เห็นถึงสถิติจำนวนรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ที่เข้าประตูตรวจสอบ หากพิจารณาข้อมูลจำแนกรายประตูตรวจสอบ พบว่า การเปิดสัญญาณไฟเขียวไฟแดงของทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3 และ 4 ไม่สอดคล้องกับปริมาณรถบรรทุก โดยเฉพาะในช่วงที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่น (15.00-18.00 น.) เกิดปัญหาแถวคอยของรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์หน้าประตูตรวจสอบเท่ากับ 31 เมตร และ 11 เมตร ตามลำดับ

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการวิเคราะห์เพื่อปรับรูปแบบระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรใหม่ โดยการประยุกต์การกำหนดระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรร่วมกับระบบการจัดแถวคอยของรถบรรทุกก่อนเข้าประตูตรวจสอบโดยใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมการจำลองสภาพการจราจรในระดับจุลภาค Simulation of Urban MObility รุ่น 1.14.1 ในบริเวณทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3 และ 4 ณ ท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อกำหนดรอบสัญญาณไฟจราจรและรูปแบบของแถวคอยที่เหมาะสม
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปรับปรุงรอบสัญญาณไฟจราจรและระบบการจัดแถวคอย

## การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องและกรอบแนวคิดการวิจัย

### 1. แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค

เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรสำหรับพื้นที่การศึกษาขนาดเล็กสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อกำหนดนโยบายทางด้านจราจรต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลาย วัตถุประสงค์ที่วัดประสิทธิภาพที่มีความละเอียดและแสดงถึงพฤติกรรมยานพาหนะแต่ละคันได้ดีและมีความละเอียดสูงให้ความสำคัญกับการจำลองพฤติกรรมของยานพาหนะในแต่ละคันได้โดยอาศัยหลักการพื้นฐานการจำลองการเคลื่อนที่ตามกันของยานพาหนะ (car following) และการจำลองการเปลี่ยนช่องจราจร (lane changing)

### 2. โปรแกรมการจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค

#### Simulation of Urban MObility

โปรแกรม Simulation of Urban MObility หรือ SUMO เป็นโปรแกรมการจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค สำหรับการรับส่งข้อมูลแบบไม่เสียค่าใช้จ่าย (opensource) โปรแกรม SUMO สามารถนำมาใช้สำหรับการวิจัยทางด้านจราจร เช่น ทางเลือกเส้นทาง ชุดคำสั่งสัญญาณไฟจราจร การจำลองการสื่อสารของยานพาหนะ สามารถนำมาใช้วางแผนในโครงการต่าง ๆ เพื่อจำลองกลยุทธ์การจัดการจราจร (Behrisch, Bieker, Erdmann, & Krajzewicz, 2011) สามารถรองรับวิธีการจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่องและแบบเวลาต่อเนื่องของพื้นที่รองรับการจำลองสำหรับยานพาหนะประเภทต่าง ๆ รูปแบบของทางแยกที่หลากหลายในทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจร เพื่อพิจารณาข้อมูลผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ความเร็วสูงสุด (maximum velocities) ข้อจำกัดการใช้ถนน (road use restrictions) และกฎสิทธิของทางที่ทางแยก (right-of-way) เป็นต้น (Nigam, Chaturvedi, & Srivastava, 2022) โดยโปรแกรม SUMO มีองค์ประกอบที่สำคัญของโปรแกรม 3 องค์ประกอบ ดังนี้

2.1 SUMO-netconvert เป็นเครื่องมือที่สำคัญของโปรแกรม ทำหน้าที่สร้างเครือข่ายจากข้อมูลที่ผู้สร้างได้เตรียมไว้โดยอาศัยข้อมูลที่จำเป็นในการสร้างเครือข่ายถนน

ได้แก่ จำนวนและพิกัดของถนน ผลลัพธ์ของการจำลองจะถูกบันทึกลงในไฟล์ XML ที่ประกอบด้วยจุดตำแหน่ง (nodes) และเส้นทาง (edges)

2.2 SUMO-router ข้อมูลสถิติต่าง ๆ ที่ถูกรวบรวมไว้สำหรับการสร้างเครือข่ายการจำลองสภาพการจราจร ประกอบด้วยยานพาหนะที่กำลังเคลื่อนที่โดยจะทำการสร้างข้อมูลที่ทำเป็นสำหรับการเดินทางของยานพาหนะ ได้แก่ ระยะเวลาการออกเดินทางของยานพาหนะ ตำแหน่งต้นทางและตำแหน่งปลายทาง

2.3 SUMO-GUI เป็นเครื่องมือที่ได้รับการพัฒนาจากโปรแกรมการจำลองดั้งเดิมด้วยหน้าต่างและส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในรูปแบบกราฟิกสำหรับการสร้างภาพเรขาคณิตภายในเครือข่ายอย่างรวดเร็ว

### 3. วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอ้อมตัว

#### 3.1 วิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น (short cycle length)

เป็นวิธีการลดความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นเพื่อช่วยให้ยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านทางแยกมีความอ้อมตัวสูง ทำให้โอกาสที่จะกำจัดยวดยานที่ปิดกั้นทางแยกสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ทวี วิชัยเมธาวี (Wichaimethawe, 2002) ที่เลือกวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น มีวัตถุประสงค์หลัก คือ การลดเวลาที่ใช้เดินทางทั้งหมดในโครงข่ายถนนให้น้อยที่สุด โดยความยาวของแถวคอยที่เกิดขึ้นจะต้องไม่มากกว่าความยาวของช่วงถนน โดยมีสมการดังนี้

$$C \leq \left(\frac{L}{D}\right) \left(\frac{3600}{V}\right)$$

โดยที่ C คือ ความยาวรอบสัญญาณไฟ (วินาที)

L คือ ระยะทางระหว่างทางแยก (ฟุต)

D คือ ระยะห่างระหว่างกันชน (ฟุต)

V คือ ปริมาณจราจรต่อช่องจราจรที่ออกจากทางแยกปลายทาง (คันต่อชั่วโมง)

3.2 วิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอยบนถนนของทางแยกปลายทาง (queue storage capacity) Wichaimethawe (2002) ได้นำหลักการควบคุมของวิธีความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นมาประยุกต์ใช้กับวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจร โดยมีวัตถุประสงค์การควบคุมเพื่อป้องกันความยาวแถวคอยไม่ให้ปิดกั้นการจราจรที่ทางแยกต้นทาง การควบคุมจะจำกัดปริมาณจราจรที่ออกจากทางแยกต้นทางไม่ให้มากกว่าที่ว่างหลังแถวคอยบนแต่ละช่วงถนนที่ทางแยกปลายทางยอมรับได้ โดยมีสมการดังนี้

$$C \leq \left( \frac{3600}{f} \right) \left( \frac{L}{d} \right)$$

โดยที่ C คือ ความยาวรอบสัญญาณไฟ (วินาที)

f คือ ปริมาณจราจรที่ออกจากทางแยกด้านทาง (คันต่อชั่วโมง)

L คือ ความยาวที่ว่างหลังแถวคอยบนช่วงถนนของทางแยกปลายทาง (ฟุต)

d คือ ระยะห่างระหว่างกันชน (ฟุต)

#### 4. ระบบจัดการแถวคอย

ปัจจัยที่สำคัญและเกี่ยวข้องโดยตรงกับความแออัดของประตูที่ท่าเรือ คือ พฤติกรรมการเข้าแถวคอยของรถบรรทุก ระบบประตูในท่าเรือเป็นระบบการเข้าแถวคอยที่ไม่คงที่มีความเป็นพลวัตสูง เนื่องจากอัตราการมาถึงของรถบรรทุกที่แตกต่างกันไปในแต่ละชั่วโมง และระยะเวลาการให้บริการอาจเปลี่ยนแปลงตามเวลา Minh and Huynh (2014) สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการเข้าแถวคอยของรถบรรทุกที่ประตูปลายทางด้วยแบบจำลองการเข้าแถวคอย ได้แก่ 1) ระบบการจัดแถวคอยแบบไม่รวมกลุ่ม (non-pooled queues) กระบวนการและเวลาให้บริการของรถบรรทุกเป็นอิสระและแยกแถวคอย มีข้อดี คือ ง่ายต่อการบริหารจัดการ ข้อเสีย คือ เมื่อรถบรรทุกมีปัญหาในการทำธุรกรรมจะขัดขวางไม่ให้รถบรรทุกด้านหลังทั้งหมดเข้ารับบริการ และ 2) ระบบการจัดแถวคอยแบบรวมกลุ่ม (pooled queues) เป็นระบบการจัดแถวคอยจะมีจำนวนประตูทำงานแบบคู่ขนานเพื่อให้บริการรถบรรทุกเพียงแถวคอยเดียว มีข้อดี คือ สามารถใช้ประโยชน์จากประตูได้อย่างเต็มที่ และมีข้อเสีย คือ ยากต่อการบริหารจัดการ

#### 5. การเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

เป็นกระบวนการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองให้มีความสอดคล้องกับสถิติในสภาพแวดล้อมจริงมากที่สุด โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างข้อมูลสำรวจภาคสนามกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคโดยใช้ค่าทางสถิติของ Geoffrey E. Havers หรือเรียกว่า ค่า GEH เป็นค่าทางสถิติที่ใช้ในการคำนวณในงานด้านวิศวกรรมจราจรเป็นการคาดการณ์ปริมาณจราจรและแบบจำลองด้านการจราจรโดยเฉพาะ ผลลัพธ์การเปรียบเทียบต้องผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

#### 6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วันชัย กันตานนท์ (Kantanon, 2018) ได้ศึกษาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการพิจารณาเลือกใช้ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบต่อเนื่องในพื้นที่โครงข่ายทางหลวงบนถนนมหิดลจังหวัดเชียงใหม่ ด้วยแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค ผลการศึกษาพบว่า ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกที่มีรอบจังหวะสัญญาณไฟจราจรสัมพันธ์กับปริมาณยานยนต์แต่ละทิศทางของทางแยกจะมีความเหมาะสมสำหรับใช้ควบคุมการจราจรบนพื้นที่ทำการศึกษามากกว่าสำหรับปริมาณจราจรต่อความจุของทั้งทางแยกสูง

ลดาวัลย์ สวนจันทร์ และจรัส พิทักษ์ศฤงคาร (Suanchan & Pitaksringkarn, 2020) ศึกษาปัญหาจากการพัฒนาพื้นที่เศรษฐกิจส่งผลให้มีปริมาณยานยนต์บนท้องถนนมากขึ้นก่อให้เกิดปัญหาจราจรติดขัด ผู้วิจัยได้เลือกใช้การจัดการระบบสัญญาณไฟจราจรสำหรับการลดความล่าช้าเฉลี่ยของยานยนต์และการเกิดอุบัติเหตุให้น้อยลง โดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรในระดับมหภาค โดยพบว่าในช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรหนาแน่นควรให้มีการประสานสัญญาณไฟจราจรไปยังแยกที่อยู่ใกล้เคียงสามารถลดความล่าช้า ร้อยละ 50 และการปรับสัญญาณไฟจราจรตามปริมาณจราจรในแต่ละทิศทางสามารถลดความล่าช้าลงได้ ร้อยละ 33-35

จากข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้การวิเคราะห์รูปแบบสัญญาณไฟจราจรและระบบการจัดแถวคอยการเข้าประตูตรวจสอบของรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์และแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคเพื่อนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหา ซึ่งแสดงดังกรอบแนวคิดการวิจัยในภาพที่ 2

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### 1. ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ดำเนินการใน 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรและระบบจัดการแถวคอย 2) การคัดเลือกและศึกษาโปรแกรมที่จะใช้จำลองสภาพจราจรและควบคุมสัญญาณไฟจราจร 3) การคัดเลือกพื้นที่ศึกษาและการเก็บรวบรวมข้อมูล และ 4) การสร้างและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสภาพจราจร

##### 2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การเก็บข้อมูลสถิติทางการจราจรดำเนินการสำรวจโดยการบันทึกวิดีโอในเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565 โดยการแบ่งการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเวลาละ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา

08.00-21.00 น. จำแนกตามประเภทของยานพาหนะที่กำหนด บริเวณทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3 และ 4 ณ ท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี

### 3. เครื่องมือวิจัย

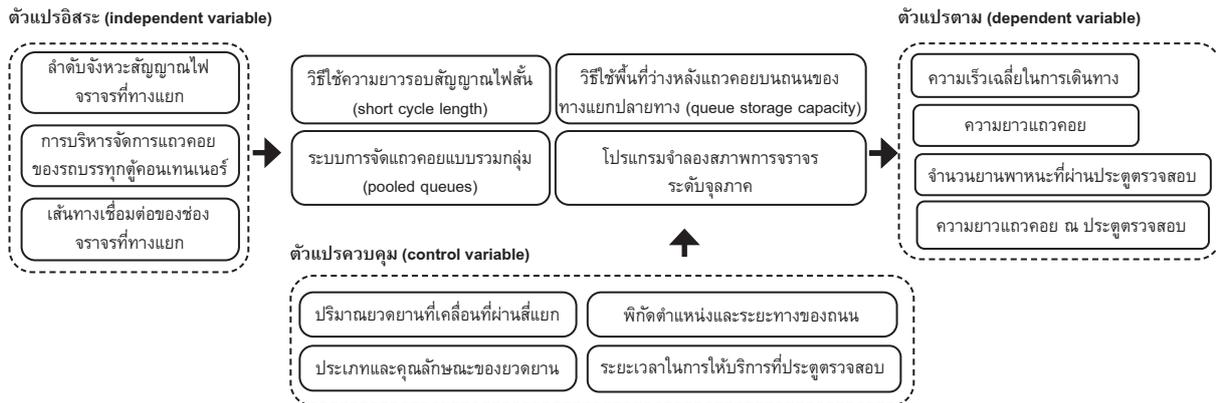
ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมภูมิศาสตร์สารสนเทศ QGIS เป็นฐานข้อมูลอ้างอิงสำหรับการสร้างโครงข่ายถนนในพื้นที่ ที่ทำการศึกษาและใช้โปรแกรมแบบจำลองสภาพจราจร ระดับจุลภาค Simulation of Urban MObility สำหรับการวิเคราะห์ รูปแบบของสัญญาณไฟจราจรและระบบจัดการแฉกคอย

### 4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

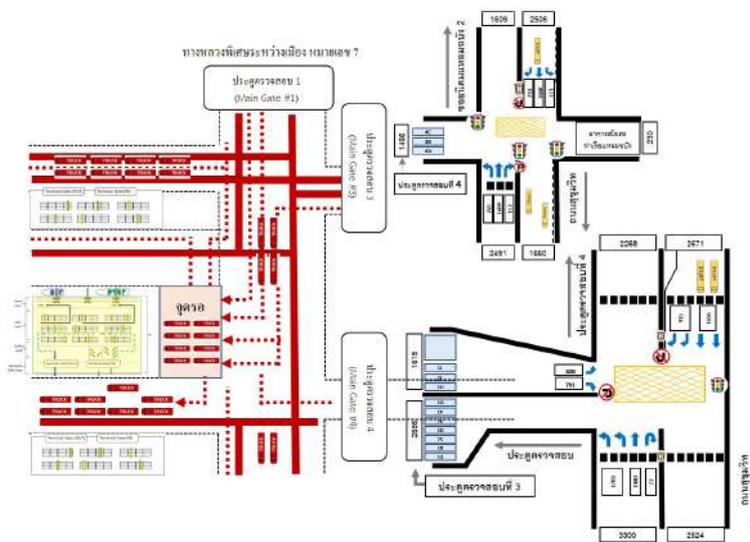
#### 4.1 การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจเส้นทางที่มุ่งหน้าเข้าสู่ท่าเรือแหลมฉบังในประตูตรวจสอบที่ 3 และประตูตรวจสอบที่ 4 ที่มีปริมาณจราจรสูงและปัญหาการจราจรติดขัดในช่วง ชั่วโมงเร่งด่วน รวมทั้งมีลักษณะเป็นทางแยกที่ควบคุมด้วย

สัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ที่มีปริมาณยานสูงที่สุด ศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลในเส้นทางซอยนิคมแหลมฉบัง 2 เนื่องจากเป็นเส้นทางที่เชื่อมการจราจรระหว่างถนนสุขุมวิท กับทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 เข้าสู่ประตูตรวจสอบที่ 3 และ 4 ของท่าเรือแหลมฉบังได้โดยตรง ลักษณะถนนมีขนาด 3 ช่องทางจราจรทั้งสองฝั่ง ระยะทางรวมประมาณ 6.5 กิโลเมตร ในเส้นทางมีจุดตัดของถนนที่มีการบริหารทางแยกด้วย สัญญาณไฟจราจรหลักทั้งหมด 2 ทางแยก ได้แก่ ทางแยก ประตูตรวจสอบที่ 3 และทางแยกประตูตรวจสอบที่ 4 ในช่วงเวลา ที่ทำการศึกษาสภาพจราจรบริเวณทางแยกจะมีลักษณะ อิ่มตัวมาก ปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่ายถนนจะถูกแบ่งเก็บ รวบรวมข้อมูลเป็น 3 ช่วงเวลา ช่วงเวลาละ 1 ชั่วโมง เพื่อทดสอบ ความสามารถของวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรและการ จัดการแฉกคอยที่ประตูตรวจสอบของท่าเรือต่อไป โดยมี ลักษณะทางกายภาพบริเวณทางแยกแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 3 ลักษณะทางกายภาพบริเวณทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3 และ 4 (ที่มา : Natthapong Chuchottaworn)

4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณจราจรบริเวณทางแยก  
ดำเนินการสำรวจปริมาณจราจรโดยการบันทึกวิดีโอ  
ในเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565 บริเวณทางแยก  
ประตูตรวจสอบที่ 3 และ 4 จากนั้นนับปริมาณยานพาหนะ  
ในแต่ละทิศทางเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ปริมาณ  
การจราจร โดยรวมปริมาณจราจรในทุกทิศทางของทางแยก  
และรวบรวมเป็นปริมาณจราจรรวมต่อชั่วโมง โดยพบว่า

ช่วงเวลาเร่งด่วนที่มีปริมาณยานพาหนะเข้าประตูตรวจสอบ  
ที่ 3 และ 4 สูงที่สุด คือ ช่วงเวลา 15.00-18.00 น. ผู้วิจัย  
จึงได้เลือกช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่ทำการศึกษา  
ในงานวิจัยครั้งนี้ สำหรับการวัดหรือคำนวณค่าปริมาณ  
การจราจรจะใช้หน่วยเดียวกัน คือ หน่วยของรถยนต์หนึ่ง  
ส่วนบุคคล (Passenger Car Unit: PCU) แสดงดังตารางที่ 1  
และ 2

ตารางที่ 1 ตัวอย่างปริมาณยานพาหนะที่เข้าสู่ทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3

ปริมาณการจราจรทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3																												
ประเภท	PCU	ช่วงเวลา 15.00-16.00 น.								ช่วงเวลา 16.00-17.00 น.								ช่วงเวลา 17.00-18.00 น.								จำนวนรถ (PCU)		
		←	↑	↖	↗	↘	↙	↕	↔	←	↑	↖	↗	↘	↙	↕	↔	←	↑	↖	↗	↘	↙	↕	↔	15.00-16.00 น.	16.00-17.00 น.	17.00-18.00 น.
รถยนต์	1	0	74	4	0	0	0	84	0	89	4	0	0	0	92	0	98	5	0	0	0	101	162	185	204			
รถบัส	2.1	0	14	1	0	0	0	10	0	15	1	0	0	0	11	0	17	1	0	0	0	12	52.5	56.7	63			
รถบรรทุก	2.5	0	45	2	0	0	0	41	0	50	3	0	0	0	45	0	55	3	0	0	0	50	220	245	270			
รถพ่วง	2.5	109	42	2	46	56	54	55	110	50	3	51	62	59	61	80	60	3	56	68	47	67	910	990	952.5			
รถกึ่งพ่วง	2.5	151	36	2	54	44	69	62	152	43	2	59	48	76	68	111	52	3	65	53	61	75	1,045	1,120	1,050			
รวม																							2,389.5	2,596.7	2,539.5			

ตารางที่ 2 ตัวอย่างปริมาณยานพาหนะที่เข้าสู่ทางแยกประตูตรวจสอบที่ 4

ปริมาณการจราจรทางแยกประตูตรวจสอบที่ 4																												
ประเภท	PCU	ช่วงเวลา 15.00-16.00 น.								ช่วงเวลา 16.00-17.00 น.								ช่วงเวลา 17.00-18.00 น.								จำนวนรถ (PCU)		
		←	↑	↖	↗	↘	↙	↕	↔	←	↑	↖	↗	↘	↙	↕	↔	←	↑	↖	↗	↘	↙	↕	↔	15.00-16.00 น.	16.00-17.00 น.	17.00-18.00 น.
รถยนต์	1	0	122	0	0	143	14	0	137	24	0	160	16	0	153	27	0	179	18	279	337	377						
รถบัส	2.1	0	32	0	0	14	6	0	36	8	0	16	7	0	40	9	0	18	8	109.2	140.7	157.5						
รถบรรทุก	2.5	0	49	0	0	28	0	0	55	4	0	31	4	0	62	4	0	35	4	192.5	235	262.5						
รถพ่วง	2.5	50	26	0	33	39	0	38	29	1	40	44	0	34	32	1	45	49	0	370	380	402.5						
รถกึ่งพ่วง	2.5	76	40	0	52	61	0	58	45	1	58	68	0	50	50	1	65	76	0	572.5	575	605						
รวม																							1,523.2	1,667.7	1,804.5			

จากตารางที่ 1 และ 2 พบว่าทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3  
มีปริมาณจราจรสูงสุดอยู่ที่ช่วงเวลา 16.00-17.00 น. ปริมาณ  
ยานพาหนะบริเวณทางแยกเท่ากับ 2,596.7 PCU และทางแยก  
ประตูตรวจสอบที่ 4 มีปริมาณจราจรสูงสุดอยู่ที่ช่วงเวลา  
17.00-18.00 น. ปริมาณยานพาหนะบริเวณทางแยกเท่ากับ  
1,804.5 PCU

4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลลักษณะทางกายภาพบริเวณ  
ทางแยก  
การเก็บรวบรวมข้อมูลทางด้านกายภาพของถนนและ

ลักษณะการจราจรในเส้นทางที่เกี่ยวข้อง สำหรับนำมาเป็น  
ข้อมูลในการสร้างแบบจำลองสภาพจราจรโดยใช้แบบจำลอง  
ระดับจุลภาคด้วยโปรแกรม Simulation of Urban MObility  
โดยมีรายละเอียดของข้อมูล ดังนี้ 1) ลักษณะทางกายภาพ  
ของถนน ได้แก่ จำนวนช่องจราจร ความกว้างช่องจราจร  
ความกว้างเกาะกลาง ความกว้างของไหล่ทาง ทิศทางการจราจร  
และ 2) ลักษณะการจราจร ได้แก่ ข้อมูลปริมาณการจราจร  
ของยานพาหนะประเภทต่าง ๆ พฤติกรรมการขับที่ สัดส่วน  
การเลี้ยวของยานพาหนะ ความยาวแถวคอยที่เกิดขึ้น

บริเวณทางแยก ความเร็วของยานพาหนะ และข้อมูลรอบเวลาสัญญาณไฟจราจร

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลการควบคุมการจราจรบริเวณทางแยกด้วยสัญญาณไฟจราจร

ผู้วิจัยทำการสำรวจรอบสัญญาณไฟของทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3 และ 4 ที่ดำเนินงานในรูปแบบทางแยกเดี่ยวในช่วงเวลาที่กำหนด พบว่ารอบสัญญาณไฟจราจรของทางแยก

ประตูตรวจสอบที่ 3 และ 4 ปัจจุบันใช้รอบสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ตลอดช่วงเวลา สัญญาณไฟของประตูตรวจสอบที่ 3 จะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงต่อ 1 รอบสัญญาณไฟ ระยะเวลารวมเท่ากับ 196 วินาทีต่อรอบ และ 2 ช่วงต่อ 1 รอบสัญญาณไฟสำหรับประตูตรวจสอบที่ 4 มีระยะเวลารวมเท่ากับ 124 วินาทีต่อรอบ โดยแต่ละช่วงมีทิศทางการเคลื่อนตัวของยานพาหนะและรอบสัญญาณไฟจราจรแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รอบสัญญาณไฟจราจรทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3 และ 4

จังหวะสัญญาณไฟจราจร		ทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3			ทางแยกประตูตรวจสอบที่ 4	
สัญญาณไฟจราจร ช่วงเวลาเร่งด่วน (วินาที)	ไฟเขียว	60	55	60	55	55
	ไฟเหลือง	3	3	3	3	3
	ไฟแดงทั้งหมด (all red)	4	4	4	4	4
	รอบสัญญาณไฟจราจรรวม	67	62	67	62	62

## 5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 การสร้างโครงข่ายถนนจากข้อมูลภูมิศาสตร์สารสนเทศ การจำลองโครงข่ายถนนเป็นขั้นตอนแรกในการสร้างแบบจำลองสภาพการจราจรด้านเส้นทางให้มีลักษณะตรงกับพื้นที่ที่ทำการศึกษามากที่สุด ผู้วิจัยเลือกนำเข้าข้อมูลโครงข่ายถนนจากโปรแกรมภูมิศาสตร์สารสนเทศ QGIS ที่สามารถวิเคราะห์และแก้ไขข้อมูลสารสนเทศเชิงพื้นที่ รวมถึงการสร้างแผนที่กราฟิกโดยสามารถนำเข้าข้อมูลจากฐานข้อมูลที่เชื่อมโยงกับ Google Maps ที่สามารถใช้ในการอ้างอิงจากภาพถ่ายทางอากาศและมาตราระยะทางของถนน ผู้สร้างสามารถเพิ่มชั้นของข้อมูลเวกเตอร์ในลักษณะจุด (point) เส้น (line) หรือรูปหลายเหลี่ยม (polygon) เพื่อสร้างเป็นเส้นทางอ้างอิงสำหรับการสร้างแบบจำลองต่อไป

5.2 การสร้างลักษณะทางกายภาพของทางแยกที่ศึกษาแบบจำลองพื้นที่ศึกษาถูกสร้างโดยอ้างอิงจากพื้นที่จริงบนถนนซอยนิคมแหลมฉบัง 2 ในบริเวณทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3 และ 4 โดยผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลทางแยกทั้งรูปแบบทางแยกเดี่ยวและทางแยกแบบประสานสัมพันธ์ โดยมีช่องจราจรบนถนนสายหลัก 6 ช่องจราจร ทิศทางละ 3 ช่องจราจร

สร้างลักษณะทางกายภาพของทางแยกโดยการสร้างเส้นเชื่อมโยง (links) คือ การสร้างแนวถนนซึ่งแต่ละเส้นทางเชื่อมโยงจะถูกกำหนดจำนวนช่องจราจร ความกว้าง ทิศทางการเชื่อมโยงและลักษณะทั่วไปของถนนที่อ้างอิงจากโปรแกรม QGIS โดยที่แต่ละเส้นทางจะเชื่อมกันด้วยจุดเชื่อมต่อ (node) เพื่อทำให้เกิดโครงข่ายถนน กำหนดความกว้างของช่องจราจรเท่ากับช่องจราจรทั่วไป คือ 3.30 เมตร แสดงดังภาพที่ 4

5.3 การนำเข้าข้อมูลปริมาณจราจรและข้อมูลความเร็วเป็นขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลปริมาณจราจรในแต่ละเส้นทางครอบคลุมปริมาณการจราจรในเส้นทางหลัก เส้นทางรองและทางแยกประเภทต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงลักษณะพฤติกรรมจราจรขยับยานพาหนะแต่ละประเภท ได้แก่ จำนวนยานพาหนะ ความเร็วของยานพาหนะ พฤติกรรมการแซง พฤติกรรมการหยุด พฤติกรรมการขยับตามกัน เป็นต้น ผู้วิจัยนำเข้าข้อมูลปริมาณจราจรในบริเวณทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3 และ 4 แบบแบ่งประเภทของยานพาหนะ ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล รถบัส รถบรรทุก รถพ่วงและรถกึ่งพ่วง กำหนดความเร็วการไหลแบบอิสระโดยมีขีดจำกัดความเร็วของถนนเท่ากับ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



5.6 การประมวลผลและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การประมวลผลแบบจำลองด้วยโปรแกรม Simulation of Urban MObility จะดำเนินการผ่านโปรแกรมย่อย SUMO-Gui โดยการนำข้อมูลโครงสร้างของโครงข่าย (.net) ข้อมูลปริมาณการจราจร (.rou) ข้อมูลเส้นทางเชื่อมต่อ (.con) และข้อมูลสัญญาณไฟจราจร (.tll) ที่ได้จัดเตรียมไว้ไปประมวลผลในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหวแสดงดังภาพที่ 6 โดยการตรวจสอบปริมาณจราจรที่ผ่านทางแยกในแต่ละทิศทางจากการสำรวจภาคสนาม เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้

จากแบบจำลองต้องผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4

จากผลการเปรียบเทียบข้อมูล พบว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ กล่าวคือค่า GEH น้อยกว่า 5 สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชัยวัฒน์ใหญ่บัก และปรเมศวร์ เหลือเทพ (Yaibok & Luathep, 2015) ที่ทำการทดสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่ GEH น้อยกว่า 5 ดังนั้นจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การวางแผนการจราจรและการกำหนดสัญญาณไฟจราจรต่อไป



ภาพที่ 6 การประมวลผลและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองด้วยโปรแกรม Simulation of Urban MObility (ที่มา : Natthapong Chuchottaworn)

ตารางที่ 4 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ตัวชี้วัดแบบจำลอง	จุดสำรวจ	ปริมาณจราจรจากการสำรวจ (คัน)	ปริมาณจราจรจากแบบจำลอง (คัน)	GEH	ผลการเปรียบเทียบ
ปริมาณจราจร (PCU)	ทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3	3,650	3,370	4.73	ผ่าน
	ทางแยกประตูตรวจสอบที่ 4	2,820	2,666	2.94	ผ่าน
ความเร็วเฉลี่ยบริเวณทางแยก (กม./ชม.)	ทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3	10	10.45	0.14	ผ่าน
	ทางแยกประตูตรวจสอบที่ 4	15	10.12	1.38	ผ่าน
ความยาวแถวคอยบริเวณทางแยก (เมตร)	ทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3	31	35.48	0.78	ผ่าน
	ทางแยกประตูตรวจสอบที่ 4	11	11.32	0.10	ผ่าน

#### ผลการวิจัย

การวิจัย เรื่อง การวิเคราะห์รูปแบบสัญญาณไฟจราจรและระบบการจัดแถวคอยการเข้าประตูตรวจสอบของรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ ณ ท่าเรือแหลมฉบัง ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์การปรับเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณไฟจราจรบริเวณ

ทางแยก 2 รูปแบบ และการปรับเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกร่วมกับระบบการจัดแถวคอย จำนวน 2 รูปแบบ ด้วยโปรแกรมแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค Simulation of Urban MObility ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 5 และตารางที่ 6

ตารางที่ 5 รอบจังหวะสัญญาณไฟจราจรปัจจุบันและเสนอปรับปรุง

ทางแยก	วิธีการ	ระยะเวลาไฟเขียว (วินาที)			รวม
		รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	
ทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3	ปัจจุบัน	60	55	60	175
	วิธี Short cycle length	26	24	24	74
	วิธี Queue storage capacity	34	31	31	96
ทางแยกประตูตรวจสอบที่ 4	ปัจจุบัน	55	55	-	110
	วิธี Short cycle length	33	30	-	63
	วิธี Queue storage capacity	44	41	-	85

\*ระยะเวลาไฟเหลือง 3 วินาที และระยะเวลาไฟแดง 4 วินาที

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์การเปรียบเทียบก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

ตัวชี้วัดแบบจำลอง	จุดสำรวจ	ก่อนปรับปรุง	เสนอปรับปรุงสัญญาณไฟจราจร				เสนอปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรและระบบจัดการแถวคอย										
			Short cycle length	เปรียบเทียบ	Queue storage capacity	เปรียบเทียบ	Pooled queue & Short cycle length	เปรียบเทียบ	Pooled queue & Queue storage capacity	เปรียบเทียบ							
ทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3	ปริมาณจราจร (PCU)	3,370	3,365.00	+5	↑	3,461.00	+91	↑	3,398.00	+28	↑	3,382.00	+12	↑			
		ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทาง (กม/ชม.)	8.61	11.13	+2.53	↑	11.42	+2.81	↑	8.34	+0.27	↑	9.71	+1.10	↑		
			ความยาวเฉลี่ยแถวคอย (เมตร)	31.27	30.55	-0.72	↓	30.05	-1.22	↓	32.67	+1.40	↑	37.48	+6.21	↑	
				จำนวนยานพาหนะเฉลี่ยที่ผ่านประตูตรวจสอบ (คัน)	1,104	1,155.00	+51	↑	1,193.00	+89	↑	1,129.00	+25	↑	1,102.00	+2	↑
					ความยาวแถวคอยเฉลี่ย ณ ประตูตรวจสอบ (เมตร)	4.56	4.19	-0.37	↓	4.02	-0.54	↓	4.23	-0.33	↓	4.24	-0.32
ทางแยกประตูตรวจสอบที่ 4	ปริมาณจราจร (PCU)					2,666	2,768.00	+102	↑	2,688.00	+22	↑	2,870.00	+204	↑	2,764.00	+98
		ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทาง (กม/ชม.)				9.41	11.70	+2.29	↑	10.99	+1.58	↑	12.10	+2.69	↑	10.98	-1.57
			ความยาวเฉลี่ยแถวคอย (เมตร)			11.15	10.25	-0.90	↓	11.23	+0.08	↑	7.05	-4.10	↓	8.38	-2.77
				จำนวนยานพาหนะเฉลี่ยที่ผ่านประตูตรวจสอบ (คัน)		616	627.00	+11	↑	625.00	+9	↑	677.00	+61	↑	645.00	-29
					ความยาวแถวคอยเฉลี่ย ณ ประตูตรวจสอบ (เมตร)	2.71	1.33	-1.38	↓	1.29	-1.42	↓	0.23	-2.48	↓	1.35	-1.36

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นผลลัพธ์การปรับเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกพร้อมกับระบบการจัดแถวคอย 2 รูปแบบ กำหนดรอบสัญญาณไฟจราจรและรูปแบบของแถวคอยที่เหมาะสม จากผลลัพธ์ข้างต้น พบว่าทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3 ควรปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรด้วยวิธีการ Queue storage capacity ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด คือ 1) ปริมาณจราจรเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 91 PCU หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.70 2) ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางเพิ่มขึ้น 2.81 กิโลเมตร

ต่อชั่วโมง หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 32.64 3) ความยาวแถวคอยเฉลี่ยลดลง 1.22 เมตร หรือลดลงร้อยละ 3.90 4) จำนวนยานพาหนะเฉลี่ยที่ผ่านประตูตรวจสอบเพิ่มขึ้น 89 คัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.06 และ 5) ความยาวเฉลี่ยแถวคอย ณ ประตูตรวจสอบลดลง 0.54 เมตร หรือลดลงร้อยละ 11.84 สำหรับทางแยกประตูตรวจสอบที่ 4 ควรปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรด้วยวิธีการ Short cycle length ร่วมกับระบบจัดการแถวคอยแบบรวมกลุ่มได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด คือ 1) ปริมาณ

จราจรเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 204 PCU หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.65  
2) ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางเพิ่มขึ้น 2.69 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 28.59 3) ความยาวแถวคอยเฉลี่ยลดลง 4.10 เมตร หรือลดลงร้อยละ 36.77 4) จำนวนยานพาหนะเฉลี่ยที่ผ่านประตูตรวจสอบเพิ่มขึ้น 61 คัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.90 และ 5) ความยาวเฉลี่ยแถวคอย ณ ประตูตรวจสอบลดลง 2.48 เมตร หรือลดลงร้อยละ 91.51 ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ วรณณิศา กมลลิมสกุล และจรัส พิทักษ์ศฤงคาร (Kamolimsakul & Pitaksringkam, 2018) ที่ได้ปรับปรุงรอบสัญญาณไฟจราจร โดยใช้โปรแกรมแบบจำลองสภาพจราจรในระดับจุลภาค โดยสามารถลดปัญหาสภาพจราจรติดขัดที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### อภิปรายผลการวิจัย

จากการนำเสนอการวิเคราะห์รูปแบบสัญญาณไฟจราจรและระบบการจัดแถวคอยการเข้าประตูตรวจสอบของรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ ณ ท่าเรือแหลมฉบัง พบว่า ปัจจุบันปัญหาความแออัดและแถวคอยของรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ที่ประตูทางเข้าโดยเฉพาะสี่แยกทางเข้าประตูตรวจสอบที่ 3 และ 4 เนื่องจากเป็นเส้นทางที่รถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ขนาดใหญ่จำเป็นต้องเคลื่อนที่ผ่านร่วมกับยานพาหนะประเภทอื่นจำนวนมากในบริเวณทางแยก และปัจจุบันมีการใช้รูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้าจากรอบสัญญาณไฟจราจรสอดคล้องกับการศึกษาของ วันชัย กันทานนท์ (Kantanon, 2018) ที่ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณจราจรและรอบสัญญาณไฟ พบว่า การกำหนดรอบสัญญาณไฟจราจรที่มีประสิทธิภาพจำเป็นจะต้องพิจารณาปริมาณยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านร่วมด้วย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์รูปแบบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมกับสภาพการจราจรที่อ้อมตัว ได้แก่ วิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นและวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอยบนถนนของทางแยกปลายทางมาใช้ในการนำเสนอสัญญาณไฟจราจรใหม่ร่วมกับการจัดแถวคอยการเข้าประตูตรวจสอบของรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ และทดสอบผลการปรับเปลี่ยนกระบวนการด้วยโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค Simulation of Urban MObility สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธีร์ดนัย อินดี และจรัส พิทักษ์ศฤงคาร (Indee & Pitaksringkam, 2021) ที่ได้พัฒนาแบบจำลองศึกษาพฤติกรรมของยานพาหนะที่ให้บริการด่านเก็บค่าผ่านทาง พบว่า การให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ตามกันจะเกิดประสิทธิภาพมากกว่าการให้ยานพาหนะเคลื่อนที่อิสระ

ผลลัพธ์การวิจัย พบว่า ทางแยกประตูตรวจสอบที่ 3 การเสนอปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรด้วยวิธีการ Queue storage capacity ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด สำหรับทางแยกประตูตรวจสอบที่ 4 การเสนอปรับปรุงสัญญาณไฟจราจรด้วยวิธีการ Short cycle length ร่วมกับระบบจัดการแถวคอยแบบรวมกลุ่มได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศรีนทิพย์ อนุรักษ์, จริยา เสกสรรค์, ฉันทดา ชูสมบัติ, จิตติกานต์ คำครุฑ, และสุพิชชา วงษ์สุเทพ (Anurak, Seksan, Choosombat, Kumkrut, & Wongsuthep, 2021) ที่ได้ศึกษาสภาพการจราจรที่มีสภาพการจราจรคับคั่งในทางแยกอำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยนำเสนอรูปแบบการปรับเปลี่ยนรอบจังหวะของสัญญาณไฟจราจรใหม่ตามปริมาณยานพาหนะแต่ละประเภทที่เคลื่อนที่ผ่านจะทำให้เวลารอคอยเฉลี่ยและจำนวนยานพาหนะเฉลี่ยในแถวคอยมีแนวโน้มลดลง

### ข้อเสนอแนะ

#### ข้อเสนอแนะในการนำงานวิจัยไปใช้

ผลการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการกำหนดนโยบายการปฏิบัติงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรและการจัดการระบบการจัดแถวคอยของยานพาหนะในพื้นที่อุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่นของประเทศไทย

#### ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาในสถานการณ์การจราจรติดขัดสูงสุดในพื้นที่และมีลักษณะสภาพจราจรอ้อมตัวเท่านั้น ดังนั้นควรมีการพิจารณาเพิ่มเติมปัจจัยเฉพาะด้านสำหรับการประยุกต์ใช้ในสถานการณ์การจราจรอื่น ๆ หรือทางแยกรูปแบบอื่นต่อไป

### References

- Anurak, Sarintip, Seksan, Jariya, Choosombat, Chanadda, Kumkrut, Titikan, & Wongsuthep, Supittha. (2021). The application of simulation technique in traffic lights timing for reducing the waiting time at Thakub Intersection, Muang District, Surat Thani Province (การประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์เพื่อลดระยะเวลารอคอยสัญญาณไฟจราจร ณ แยกท่ากูป อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี). *Thai Industrial Engineering Network Journal*, 7(1): 15-22.

- Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., & Krajzewicz, D. (2011). **SUMO – Simulation of Urban MObility: An Overview**. [Online]. Retrieved August 1, 2022 from [https://www.researchgate.net/publication/225022282\\_SUMO\\_-\\_Simulation\\_of\\_Urban\\_MObility\\_An\\_Overview](https://www.researchgate.net/publication/225022282_SUMO_-_Simulation_of_Urban_MObility_An_Overview)
- Buahome, Siwa, Satiennam, Wichuda, & Satiennam, Thaned. (2020). Driver's speed and stop/go decision during the onset of yellow: A high-speed urban mixed traffic intersection case study (พฤติกรรมการใช้ความเร็วและการตัดสินใจของผู้ขับขี่ที่เข้าทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเหลือง: กรณีศึกษาทางแยกความเร็วสูงสภาพการจราจรแบบผสมในเขตเมือง). **KKU Research Journal (Graduate Studies)**, 20(1): 126-137.
- Indee, Teedanai, & Pitaksringkarn, Jumrus. (2021). Analyzing a mixed toll collection system using traffic microsimulation models: A case study of Din Daeng Toll Plaza (การวิเคราะห์ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบผสมผสานโดยใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค: กรณีศึกษา ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง). **Ladkrabang Engineering Journal**, 38(1): 1-14.
- Kamollimsakul, Wannisa, & Pitaksringkarn, Jumrus. (2018). Traffic operational analysis of continuous flow urban interchange using micro simulation modeling technique : A case study of Dat Daruni School, Chachoengsao (การวิเคราะห์จราจรทางแยกแบบไหลต่อเนื่องผสมผสานกับทางแยกต่างระดับโดยแบบจำลองจราจรระดับจุลภาค : กรณีศึกษาแยกหน้าโรงเรียน ตัดครุณี จ. ฉะเชิงเทรา). **Ladkrabang Engineering Journal**, 35(1): 23-32.
- Kantanon, Vanchai. (2018). **Determining the Use of Coordinated Signal Control Case Study: Intersection Network on Mahidol Road, Chiang Mai Province** (การพิจารณาเลือกใช้ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบต่อเนื่อง กรณีศึกษา: โครงข่ายทางแยกบนถนนมหิดล จังหวัดเชียงใหม่). Master's dissertation, Thammasat University, Pathum Thani, Thailand.
- Magala, M., & Sammons, A. (2008). A new approach to port choice modelling. **Maritime Economics and Logistics**, 10(1-2): 9-34.
- Minh, C. C., & Huynh, N. (2014). Planning-level tool for assessing and optimizing gate layout for marine container terminals. **Transportation Research Record**, 2409(1): 31-39.
- Nigam, A., Chaturvedi, M., & Srivastava, S. (2022). An empirical study on parameters affecting traffic stream variables under rainy conditions. In **Proceeding of 14<sup>th</sup> International Conference on COMMunication Systems & NETworkS (COMSNETS 2022)**, (pp. 818-823). Bangalore, India: IEEE.
- Popa, A., & Strer, J. (2016). Analysis of passenger and vehicle flows with microscopic simulations as a result of security checks at Ferry Terminals. **Transportation Research Procedia**, 14: 1384-1393.
- Suanchan, Ladawan, & Pitaksringkarn, Jumrus. (2020). A study of traffic signal coordination system: A case study of the Royal Initiate Project Road of His Majesty King Rama IX (การศึกษาระบบการประสานสัญญาณไฟจราจร : กรณีศึกษาถนนโครงการพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9). **Engineering Journal of Research and Development**, 31(1): 73-85.
- Tuntivejakul, Ud. (2015). **Application of Congestion Charge to Reduce Congestion within Laem Chabang Port** (การประยุกต์ใช้ค่าธรรมเนียมการจราจรคับคั่งเพื่อลดปัญหาการจราจรติดขัดในท่าเรือแหลมฉบัง). Master's dissertation, Burapha University, Chonburi, Thailand.
- Wichaimethawee, Thawee. (2002). **Development of Traffic Signal Control Strategies for Saturated Traffic Conditions** (การพัฒนาวีธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพการจราจรอิ่มตัว). Master's dissertation, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.
- Yaibok, Chaiwat, & Luatthep, Paramet. (2015). An analysis of traffic management of multiple consecutive intersections: A case study of Hat Yai Municipality (การวิเคราะห์การจัดการจราจรของจุดทางแยกต่อเนื่อง กรณีศึกษาเทศบาลนครหาดใหญ่). **UBU Engineering Journal**, 8(1): 103-114.