

การพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลการขนส่งสินค้าระดับประเทศ ด้วยข้อมูล GPS รถบรรทุก Development of National Freight Transport Analytics System Using GPS- Based Truck Data

ธีรพจน์ ศิริไพโรจน์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

องครักษ์ นครนายก 26120

Treerapot Siripirote

Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University,

Ongkharak, Nakhon Nayok, 26120

Corresponding author E-mail: treerapot_eng@yahoo.com

(Received: February 13, 2026; Revised: March 5, 2026 ; Accepted: March 31, 2026)

บทคัดย่อ

การขนส่งสินค้าทางถนนด้วยรถบรรทุกเป็นรูปแบบหลักของการขนส่งสินค้าของประเทศไทย และมีบทบาทสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจและห่วงโซ่อุปทานของประเทศ อย่างไรก็ตามการบริหารจัดการและการวางแผนระบบขนส่งสินค้าในระดับประเทศที่ผ่านมา ยังประสบข้อจำกัดด้านการเข้าถึงข้อมูลเชิงลึกที่สะท้อนพฤติกรรมและการเคลื่อนย้ายสินค้าจริงในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา บทความวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอกระบวนการพัฒนาระบบวิเคราะห์ฐานข้อมูลการขนส่งสินค้าด้วยข้อมูล GPS รถบรรทุก ในระดับประเทศ โดยประยุกต์ใช้ข้อมูลตำแหน่งจากระบบ GPS ของรถบรรทุก ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ เพื่อสร้างองค์ความรู้ด้านรูปแบบการเคลื่อนย้ายสินค้า โครงสร้างห่วงโซ่อุปทาน และพฤติกรรมการณ์การเดินรถของรถบรรทุก ระบบวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น (ได้ถูกตรวจสอบความถูกต้องเช่นระยะเดินทางเฉลี่ย หรือ ปริมาณรถบนถนน โดยผลลัพธ์อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้) สามารถประมวลผลข้อมูล GPS ปริมาณมหาศาลในระดับหลายร้อยล้านจุดข้อมูลต่อวัน โดยแสดงผลในรูปแบบตัวชี้วัด ตัวอย่างเช่นระบบดังกล่าวสามารถวิเคราะห์หาปริมาณการเคลื่อนย้ายสินค้ารวมได้มากกว่าสามล้านเที่ยวต่อเดือน จากรูปแบบกิจกรรม ณ จุดหยุดรถบรรทุกและห่วงโซ่การเดินทางขนส่งที่มีลักษณะเฉพาะจำแนกกว่าห้าพันรูปแบบ เพื่อสนับสนุนการกำหนดนโยบาย การวางแผนโครงสร้างพื้นฐานด้านโลจิสติกส์ และการบริหารจัดการระบบขนส่งสินค้าในระดับประเทศ

คำสำคัญ: ข้อมูล GPS รถบรรทุก การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ การวิเคราะห์ขนส่งสินค้าระดับชาติ การจำแนกกิจกรรม ณ จุดหยุดรถบรรทุก รูปแบบและเส้นทางการเคลื่อนย้ายสินค้า การประมาณต้นทุนทาง-ปลายทางเดินทาง

ABSTRACT

Road freight transport by trucks is the dominant freight transport mode in Thailand and plays a crucial role in the national economy and supply chains. However, freight transport planning and management at the national level has long been constrained by the lack of detailed data that accurately reflects real freight movement patterns in both spatial and temporal dimensions. This

academic article aims to present the development process of National Freight Transport Analytics system using GPS-based truck data. The system utilizes GPS data collected from trucks, integrated with big data analytics techniques, to generate insights into freight movement patterns, supply chain structures, and truck operational behaviors. The developed system (validated with average trip lengths and traffic counts on road within acceptable limit's results) is capable of processing massive volumes of GPS data, amounting to hundreds of millions of records per day, and visualizing the results through key performance indicators (KPIs). For instance, the system is capable of analyzing the overall freight movements of more than three million trips per month, derived from more than 5,000 of unique activity patterns at truck stop points and commodity trip chain. These outputs support evidence-based policymaking, logistics infrastructure planning, and freight transport management at the national scale.

Keyword: Truck GPS data, big data analytics, national freight transport analytics, truck stop activity classification, freight movement patterns and travel paths, origin-destination estimations.

1. บทนำ

การขนส่งสินค้าทางถนนด้วยรถบรรทุกเป็นกลไกหลักของระบบโลจิสติกส์ของประเทศไทย โดยรองรับสัดส่วนการขนส่งสินค้าส่วนใหญ่ของประเทศทั้งในเชิงปริมาณและมูลค่า การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมทางเศรษฐกิจ การกระจายตัวของฐานการผลิต และการขยายตัวของเมือง ส่งผลให้ปริมาณการเดินรถบรรทุกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามการบริหารจัดการและการวางแผนระบบขนส่งสินค้าในระดับประเทศยังคงเผชิญข้อจำกัดเชิงเทคนิคที่สำคัญ ได้แก่ การขาดข้อมูลเชิงลึกที่สะท้อนพฤติกรรมเคลื่อนย้ายสินค้าจริงในเชิงพื้นที่ (spatial) และเชิงเวลา(temporal)อย่างต่อเนื่อง ครอบคลุม และมีความละเอียดสูง

ในช่วงที่ผ่านมา การวิเคราะห์ระบบขนส่งสินค้ามักอาศัยข้อมูลเชิงสถิติแบบสำรวจเป็นช่วงเวลา (periodic surveys) หรือเป็นข้อมูลทุติยภูมิระดับมหภาค ซึ่งขาดจำนวนตัวอย่างที่เพียงพอ และไม่สามารถอธิบายพลวัตของการเดินรถบรรทุกในระดับห่วงโซ่การขนส่ง เส้นทาง และกิจกรรมโลจิสติกส์ได้อย่างชัดเจนและครอบคลุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์รูปแบบการไหลของสินค้า (commodity flows) ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของห่วงโซ่อุปทาน และพฤติกรรมรถหยุดจอดหรือทำกิจกรรมของรถบรรทุกในพื้นที่ต่าง ๆ ข้อจำกัดดังกล่าวส่งผลต่อการ

กำหนดนโยบาย การวางแผนโครงสร้างพื้นฐาน และการบริหารจัดการจราจรรถบรรทุก เป็นต้น

ทั้งนี้ได้มีการนำเอาข้อมูลการเดินทางของยานพาหนะที่ติดตั้งอุปกรณ์ GPS ซึ่งจะมีการเก็บข้อมูลพิกัดเดินทาง (ค่าละติจูด และค่าลองจิจูด) อย่างต่อเนื่องเป็นช่วงอยู่ตลอดเวลาใช้เพื่อหาเส้นทางการเดินทางจริง โดยวิธี topological map-matching method (เช่น [1]) และ [2] ได้นำเอาข้อมูลผลต่างของพิกัดเวลา (timestamp) มาใช้แบ่งสถานะเดินทาง 2 ประเภท คือ สถานะ

ยานพาหนะกำลังเดินทาง (run) และ สถานะรถหยุด (stop) จากผลการศึกษาพบว่า ผลต่างของพิกัดเวลาที่ต่อเนื่องกันอย่างน้อย 240 วินาที (4 นาที) ถูกใช้เพื่อคัดแยกการหยุดรถเพื่อทำกิจกรรมออกจากสถานะรถที่กำลังเดินทาง หรือรถหยุดเนื่องจากการจราจร (การจราจรติดขัด) สำหรับการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องนี้ [3] พบว่าการเดินทางบางช่วงของรถบรรทุกนั้นจะเดินทางในระยะทางสั้นๆ (ภายใน 20-30 เมตร) ภายในพื้นที่ เช่น การเคลื่อนย้ายรถภายในอาคารหรือภายในลานจอดขนาดใหญ่ เป็นต้น การเดินทางภายในพื้นที่รูปแบบนี้ตำแหน่งหยุดของรถที่เคลื่อนย้ายไปมาภายในพื้นที่จำกัดนี้ ไม่ใช่จุดต้นทางหรือปลายทางตามวัตถุประสงค์การเดินทางที่แท้จริง เช่นนี้แล้วสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่

ระหว่างพื้นที่ที่ย่อนั้น จะถูกคัดแยกช่วงการเดินทางนี้ (insufficient movement) ออก เพื่อบ่งเฉพาะช่วงการเดินทางระหว่างพื้นที่ที่ต้องการ โดย [3] คัดกรองช่วงการเดินทางที่มีระยะห่างระหว่างพิกัดตำแหน่งเชิง GPS ที่หยุดต่อเนื่องกัน 2 ตำแหน่ง ซึ่งหากมีค่าน้อยกว่า 20 เมตร จะถือว่าตำแหน่งรถหยุดใหม่นั้นไม่ใช่จุดปลายทางการเดินทางของช่วงการเดินทางนั้นๆ นอกจากการใช้หลักเกณฑ์คัดกรองประเภทการเดินทาง โดยวิธีอย่างง่ายดังที่ได้กล่าว (Cut-off method) [4] ได้ใช้วิธี support vector machine method (SVM) เพื่อระบุประเภทของการจอดของรถขนส่งสินค้าระหว่างการจอดเพื่อรับส่งสินค้าและการจอดประเภทอื่น ๆ (เช่น หยุดเนื่องจากรถติดบนถนน) โดยใช้ตัวแปร 2 ตัวในการพิจารณา คือ ระยะเวลาหยุด (stop duration) และ ระยะห่างระหว่างตำแหน่งหยุดและศูนย์กลางเมือง ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ [5] ซึ่งใช้วิธี entropy หาคความคล้ายคลึงกันของผู้ขนส่งสินค้าในการจอดแต่ละแห่ง เพื่อวิเคราะห์หาประเภทของการจอดระหว่างการจอดเพื่อขนส่งสินค้าและการจอดเพื่อทำกิจกรรมอื่น นอกจากนี้ [6] ใช้วิธีตามแนวทางของ random forest โดยใช้ข้อมูลคุณลักษณะการเดินทางต่าง ๆ ที่ได้จากข้อมูล GPS และข้อมูล GIS เพื่อวิเคราะห์หาประเภทการหยุดรถที่เกี่ยวข้องกับการทำงานและการหยุดรถที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทำงาน และ [7] ได้ประยุกต์ใช้การจัดกลุ่มข้อมูลแบบ unsupervised K-means clustering เพื่อวิเคราะห์หาประเภทกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การหยุดจ่ายค่าธรรมเนียมผ่านทาง การหยุดเติมน้ำมัน การหยุดพัก และการหยุดเพื่อกินข้าว จากข้อมูลเวลาเริ่มจอดและเวลาหยุดรถ โดย [8] ได้ทำการศึกษาแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะกิจกรรมต่างๆ ณ จุดที่รถบรรทุกที่ติดตั้ง GPS หยุด ซึ่งสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทหลัก คือกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการขนถ่ายสินค้า และกิจกรรมที่ไม่เกี่ยวข้องกับการขนถ่ายสินค้า (เช่น การจอดแวะพัก) จากระยะเวลาและตำแหน่งที่รถหยุด (เช่น ระยะห่างตำแหน่งที่รถหยุดและโครงข่ายถนน ประเภทสถานที่ที่รถหยุด รูปแบบการหยุด และห่วงโซ่การเดินทางขนส่งสินค้า เป็นต้น) โดยวิธี Maximum-likelihood estimation approach (ดังเช่น [10]) โดยสามารถวิเคราะห์จุดต้นทาง-ปลายทาง และการ

เคลื่อนย้ายสินค้า ในกลุ่มสินค้าหลักของประเทศไทย นอกจากนี้ [11] ได้เสนอกรอบแนวคิดการระบุการเดินทางระยะไกลและการเดินทางแบบไป-กลับของรถบรรทุกที่ติดตั้ง GPS (ข้อมูลระบุตำแหน่งและเวลาของรถบรรทุก) ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้เทคนิค heuristic rules และวิธีแบบ data-driven method ซึ่งใช้ข้อมูลสถานที่ที่รถบรรทุกจอดขนถ่ายสินค้า และ ข้อมูลจุดที่น่าสนใจ (Point of interest, POI) ผสมกับข้อมูล GPS ในการวิเคราะห์เกี่ยวกับการเดินทางของรถบรรทุกที่มีลักษณะเดินทางดังกล่าว อย่างไรก็ตามการศึกษาที่ผ่านมาส่วนใหญ่ ได้เน้นที่การใช้ข้อมูล GPS รถบรรทุก เพื่อการระบุลักษณะกิจกรรมหรือประเภทการเดินทาง บางกิจกรรมหรือบางประเภทเดินทางเท่านั้น โดยไม่ได้จำแนกชนิดสินค้าในแต่ละช่วงการเดินทาง

ในการศึกษานี้ได้นำเสนอกระบวนการพัฒนาระบบวิเคราะห์ฐานข้อมูลการขนส่งสินค้าด้วยข้อมูล GPS รถบรรทุก ในระดับประเทศ โดยประยุกต์ใช้ข้อมูลตำแหน่งจากระบบ GPS ของรถบรรทุก ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ เพื่อสร้างองค์ความรู้ด้านรูปแบบการเคลื่อนย้ายสินค้า โครงสร้างห่วงโซ่อุปทาน และพฤติกรรมการเดินทางของรถบรรทุกที่เกิดขึ้นจริง

2. เปรียบวิธีการพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลการขนส่งสินค้าระดับประเทศ ด้วยข้อมูล GPS

ระเบียบวิธีการพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลการขนส่งสินค้าระดับประเทศด้วยข้อมูล GPS ที่พัฒนาขึ้นนี้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน ดังเช่นลักษณะและขนาดข้อมูลที่นำเข้าระบบฯ โดยสามารถนำเอาผลลัพธ์ของระบบฯ ไปใช้สนับสนุนการวางแผนและกำหนดนโยบายด้านการขนส่งสินค้าได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ลักษณะข้อมูล GPS

ข้อมูล GPS ที่นำเข้าสู่ระบบฯ เป็นข้อมูลที่ได้จากการติดตั้งอุปกรณ์ GPS ทางบก บนรถบรรทุกมากกว่าสี่แสนคันทั่วประเทศ ตามข้อกำหนดของกรมการขนส่ง คิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 50 ของรถบรรทุกที่ถูกใช้งานทั่วประเทศในปัจจุบัน (ข้อมูลกรมการขนส่งทางบก รถบรรทุก

จดทะเบียนสะสมภายใน 0-20 ปี มีรถบรรทุกจำนวนทั้งสิ้นประมาณ 771,045 คัน ณ เดือนธันวาคม 2568) ส่งผลให้การวิเคราะห์มีความครอบคลุมเชิงพื้นที่ในระดับประเทศ และสามารถสะท้อนพฤติกรรมการเดินทางของรถบรรทุกได้ โดยมีลักษณะเป็นข้อมูลตำแหน่งเชิงเวลา ที่ถูกส่งเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง

2.2 การเตรียมข้อมูลและคัดกรองข้อมูล

สำหรับรถบรรทุก i ที่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ GPS ข้อมูลที่ได้รับ ประกอบด้วย ข้อมูลพิกัดเวลา (time stamp) ได้แก่ ข้อมูลความเร็วและพิกัดตำแหน่ง (latitude และ longitude) หากรถบรรทุกหยุดทำกิจกรรมใด ๆ ความเร็วของ GPS จะมีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อกำหนดให้ G เป็น set ของข้อมูล GPS ของรถบรรทุกที่บันทึกได้ (ดังตัวอย่างข้อมูล GPS รถบรรทุกแสดงใน [14]) แสดงดังสมการที่ 1

$$G_i = \left\{ (\tau_{i,1}, \lambda_{i,1}, \varphi_{i,1}, v_{i,1}), \dots, (\tau_{i,n}, \lambda_{i,n}, \varphi_{i,n}, v_{i,n}), \dots, \right. \\ \left. (\tau_{i,N_i}, \lambda_{i,N_i}, \varphi_{i,N_i}, v_{i,N_i}) \right\}, \quad \forall i \in \{1, \dots, M\} \quad (1)$$

โดยที่ $\tau_{i,n}$ คือ ค่าพิกัดเวลา (time stamp) ของรถบรรทุก i ที่บันทึกข้อมูลลำดับที่ n , $\lambda_{i,n}$ และ $\varphi_{i,n}$ คือ ค่า the latitude และ longitude ของรถบรรทุก i ที่บันทึกข้อมูลลำดับที่ n , $v_{i,n}$ คือ ค่าความเร็วของรถบรรทุก i ที่บันทึกข้อมูลลำดับที่ n , N_i คือ จำนวนการบันทึกข้อมูล GPS ของรถบรรทุก i

นอกจากนี้ ความเร็วของจุด GPS (v) นำมาใช้เพื่อจำแนกการเคลื่อนไหวของรถบรรทุก (เช่น $v = 0$: รถบรรทุกอยู่ในระยะหยุดนิ่ง หรือ $v > 0$: รถบรรทุกอยู่ในระยะวิ่ง) สำหรับขั้นตอนและกระบวนการตรวจสอบข้อมูล GPS ที่ได้รับ จะมีการคัดกรองข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ออก โดยกระบวนการคัดกรองนี้ จะขึ้นกับรูปแบบข้อมูลที่ได้รับ เช่น ข้อมูล GPS time log (Timestamp) บางช่วงขาดหายไป หรือทั้งช่วงเป็นระยะเวลานาน ข้อมูลระบุตำแหน่ง GPS location log (Latitude, Longitude) ขาดหาย ข้อมูลระบุความเร็วในการเดินทางที่ไม่อยู่ในช่วงข้อมูลที่เหมาะสม เป็น

ต้น เนื่องจากข้อมูลประเภทนี้ จะถูกใช้ในการระบุสถานะเดินทางของรถบรรทุก เช่นการแบ่งระหว่างสถานะรถหยุดและรถวิ่ง เป็นต้น หลังจากคัดกรองข้อมูลดิบเชิง GPS ที่ไม่สมบูรณ์หรือผิดปกติออก ข้อมูลจะถูกนำมาเรียงตามลำดับของเวลา (Sorting by timestamp) เพื่อวิเคราะห์ระยะทางขจัด (Euclidean distance) ระยะเวลาหยุดรถ และช่วงเวลาเดินทางระหว่าง GPS log สองตำแหน่งที่ต่อเนื่องกันของรถบรรทุกคันเดียวกัน (เช่น [8] และ [12])

2.3 ตัวอย่างกิจกรรมของรถบรรทุก (Truck activity) และห่วงโซ่การเคลื่อนย้ายสินค้า (commodity trip chain)

สำหรับรถบรรทุกหรือคนขับรถบรรทุกเพื่อดำเนินกิจกรรมใด ๆ (เช่น การบรรทุกสินค้า การขนถ่ายสินค้า การแวะพัก และการเติมน้ำมัน ฯลฯ) ข้อกำหนดเบื้องต้นที่สำคัญคือควรหยุดรถบรรทุก กำหนดให้ $a_{i,s}$ คือประเภทกิจกรรมที่รถบรรทุก i ทำ ณ จุดหยุด s และ set ของกิจกรรมที่เป็นไปได้ ณ จุดหยุด คือ F_s ซึ่ง $a_{i,s} \in F_s$ โดยหากทราบประเภทกิจกรรมของรถบรรทุก i ($a_{i,s}$) ตามลำดับของการหยุดจะทำให้สามารถวิเคราะห์หารูปแบบกิจกรรมสำหรับรถบรรทุก i , A_i ได้ดังสมการที่ 2

$$A_i = \{a_{i,1}, \dots, a_{i,s}, \dots, a_{i,S_i}\}, \quad \forall i \in \{1, \dots, M\} \quad (2)$$

โดยที่ $s \in \{1, \dots, S_i\}$ และ S_i คือ จำนวนการหยุดของรถบรรทุก i , $\{1, \dots, S_i\}$ คือ ลำดับการหยุดต่อเนื่องของรถบรรทุก i , M คือ จำนวนรถบรรทุกที่บันทึกข้อมูล GPS, $\psi_{i,s}^c \in \{\text{loading, unloading, parking}\}$ คือ ประเภทกิจกรรม ณ จุดหยุดที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้า ของรถบรรทุก i บรรทุกสินค้าประเภท c

โดยหากรวมข้อมูลประเภทกิจกรรมของรถบรรทุก i ($\psi_{i,s}^c$) ตามลำดับการหยุดที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้า (S_i) เราจะได้รูปแบบของกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าของรถบรรทุก i ขนส่งสินค้าประเภท c (Ψ_i^c) แสดงได้ดังสมการที่ 3

$$\Psi_i^c = \{\psi_{i,1}^c, \dots, \psi_{i,\hat{s}}^c, \dots, \psi_{i,\hat{s}_i}^c\},$$

$$\forall i \in \{1, \dots, M\}, c \in \{1, \dots, C_i\} \quad (3)$$

โดยที่ $\hat{s} \in \{1, \dots, \hat{s}_i\}$ และ $\hat{s}_i$ คือ จำนวนการหยุดที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าของรถบรรทุก i , $\{1, \dots, \hat{s}_i\}$ คือ ลำดับการหยุดที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าของรถบรรทุก i , C_i คือ จำนวนประเภทสินค้าที่เป็นไปได้ในการบรรทุกโดยรถบรรทุก i และกำหนดให้ $\mathcal{E}_i^c$ คือ ลำดับของสถานที่ที่บรรทุกสินค้าประเภท c โดยรถบรรทุก i (commodity trip chain) ดังสมการที่ 4

$$\mathcal{E}_i^c = \{\xi_{i,1}^c, \dots, \xi_{i,\hat{s}}^c, \dots, \xi_{i,\hat{s}_i}^c\},$$

$$\forall i \in \{1, \dots, M\}, c \in \{1, \dots, C_i\} \quad (4)$$

โดยที่ $\xi_{i,\hat{s}}^c$ คือ ประเภทของสถานที่ (เช่น โรงงาน โกดัง/คลังสินค้า ท่าเรือ ด่านพรมแดน เป็นต้น) ณ จุดหยุด $\hat{s}$ ที่รถบรรทุก i ขนส่งสินค้าประเภท c หยุดจอดเพื่อทำกิจกรรม

สำหรับสถานะของการเดินทาง (Status of trip legs) ระหว่างจุดหยุดที่เกี่ยวข้องกับการขนถ่ายสินค้า (บรรทุกสินค้าขึ้นรถหรือถ่ายสินค้าจากรถ) ของรถบรรทุก i ขนส่งสินค้าประเภท c (θ_i^c) แสดงได้ดังสมการที่ 5

$$\theta_i^c = \{\theta_{i,1}^c, \dots, \theta_{i,\hat{s}}^c, \dots, \theta_{i,\hat{s}_i-1}^c\},$$

$$\forall i \in \{1, \dots, M\}, c \in \{1, \dots, C_i\} \quad (5)$$

โดยที่ $\theta_{i,\hat{s}}^c$ คือ สถานะของการเดินทาง (status of trip legs) ระหว่างจุดหยุด $\hat{s}$ และ $\hat{s} + 1$ ของรถบรรทุก i ขนส่งสินค้าประเภท c หาก $\theta_{i,\hat{s}}^c = 1$ สำหรับกรณีรถบรรทุกเดินทางพร้อมสินค้าประเภท c (loaded trip) และ $\theta_{i,\hat{s}}^c = 0$ สำหรับกรณีรถบรรทุกเดินทางที่ไม่มีสินค้าประเภท c (unloaded trip)

เพื่อหาวิธีการหาประเภทกิจกรรมห่วงโซ่การเคลื่อนย้ายสินค้า และสถานะของการเดินทางของรถบรรทุก ตัวอย่างกิจกรรมที่ดำเนินการโดยรถบรรทุก

จากโรงสีข้าว โดยในตัวอย่างดังกล่าวรถบรรทุก (A_1) ขนส่งสินค้าขึ้นรถที่โรงสีข้าว และถ่ายสินค้าลงที่โรงงานอาหารและเครื่องดื่ม หลักจากนั้นรถบรรทุกจอดแวะพักทานอาหารร้านริมทาง และเดินทางต่อไปยังท่าเรือเพื่อถ่ายสินค้าที่เหลือลง หลังจากเสร็จงาน รถบรรทุกคันดังกล่าวหยุดแวะเติมน้ำมันก่อนเดินทางกลับโรงสี ด้วยตัวอย่างดังกล่าวนี้ รูปแบบกิจกรรม (A_1) และรูปแบบกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้า (Ψ_1^{rice}) ของรถบรรทุก (A_1) สามารถแสดงดังสมการ 6a – 6b

$$A_1 = \{ \text{Freight-related,} \\ \text{Freight-related, Dining, Freight-related,} \\ \text{Gas refilling, Freight-related} \} \quad (6a)$$

$$\Psi_1^{\text{rice}} = \{ \text{Loading, Unloading, Unloading,} \\ \text{Parking} \} \quad (6b)$$

สำหรับห่วงโซ่การเคลื่อนย้ายสินค้า (Commodity trip chain) และสถานะการเดินทาง (Status of trip legs) ของรถบรรทุกคันนี้ แสดงสมการที่ 6c – 6d

$$\mathcal{E}_1^{\text{rice}} = \{ \text{Rice mill, Food/Beverage factory} \\ \text{, Port, Rice mill} \} \quad (6c)$$

$$\theta_1^{\text{rice}} = \{1, 1, 0\} \quad (6d)$$

2.4 การหาตำแหน่งที่รถหยุดเพื่อทำกิจกรรม (effective stop identification)

เนื่องจากปัญหาความคลาดเคลื่อนของ GPS หรือปัญหาด้านสัญญาณ ([2]) พิกัดละติจูดและลองจิจูดของรถบรรทุกอาจเปลี่ยนแปลงแม้ว่าจะหยุดรถแล้ว อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดจะแตกต่างกันมากหารรถบรรทุกเคลื่อนที่ ตัวอย่างเช่น พิกัดระยะทางใน 1 นาทีที่ยานพาหนะหยุดอาจเปลี่ยนแปลงคลาดเคลื่อนได้ถึง 10 เมตร และอาจเปลี่ยนแปลงได้สูงถึง 1,000 เมตร เมื่อยานพาหนะวิ่งด้วยความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นต้น และทิศทางการเคลื่อนที่เมื่อหยุดนิ่งจะเป็นแบบสุ่มมากกว่าและอาจขัดต่อกระแสการจราจรทั่วไป (เช่น การถอยหลัง) ด้วยความแตกต่างเหล่านี้ การบันทึก GPS จะถูกจัดกลุ่มตามจุดหยุดรถบรรทุกต่าง ๆ ตามพิกัด

เวลาเริ่มต้น/สิ้นสุดและตำแหน่งเฉลี่ยที่สอดคล้องกัน (เช่น ละติจูดและลองจิจูด) การหยุดรถที่เกิดขึ้น ได้ถูกกำหนดโดยสถานที่ที่รถบรรทุกหยุดและดำเนินกิจกรรมอย่างใดอย่างหนึ่งหรือบางส่วน การหยุดที่เกิดขึ้นเหล่านี้ไม่ควรรวมการหยุดใด ๆ ที่เกิดจากการจราจรที่ไม่มีกิจกรรมใด ๆ เกิดขึ้น (เช่น การรออยู่หน้าเส้นหยุดของทางแยก เป็นต้น)

เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถจัดการหยุดที่เกี่ยวข้องกับการจราจร จึงมีการกำหนดระยะเวลาหยุดรถขั้นต่ำ (y_{min}) มาใช้ในการระบุจุดแวะที่อาจจะเกิดขึ้น การวิเคราะห์การหยุดที่เป็นไปได้ ($\tilde{S}$) แสดงได้ดังสมการที่ 7

$$\begin{aligned} \hat{t}_{i,s} - \tilde{t}_{i,s} &\geq y_{min}, \\ \forall i \in \{1, \dots, M\}, \tilde{s} \in \{1, \dots, \tilde{S}_i\} \end{aligned} \quad (7)$$

โดยที่ $\hat{t}_{i,s}$ และ $\tilde{t}_{i,s}$ คือพิกัดเวลาของเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดการหยุดที่จุดหยุด ($\tilde{S}$) ของรถบรรทุก i ตามลำดับ

แต่เนื่องด้วยข้อผิดพลาดของ GPS ที่กล่าวถึงข้างต้น ค่าละติจูด ($\tilde{\lambda}_{i,s}, \forall \tilde{s} \in \{1, \dots, \tilde{S}_i\}$) และค่าลองจิจูด ($\tilde{\varphi}_{i,s}, \forall \tilde{s} \in \{1, \dots, \tilde{S}_i\}$) ของรถบรรทุก i ที่จุดหยุด ($\tilde{S}$) คำนวณจากค่าเฉลี่ยของ GPS ที่จุดหยุดดังกล่าว โดยที่ $\tilde{S}_i$ คือจำนวนการหยุดรถของรถบรรทุก i และ $\{1, \dots, \tilde{S}_i\}$ คือลำดับของการหยุดที่เกิดขึ้นของรถบรรทุก i

เนื่องจากข้อมูล GPS จากระบบรถบรรทุกแต่ละคัน (เช่น ค่าพิกัดละติจูด/ลองจิจูด พิกัดเวลา และความเร็ว) ถูกจัดเรียงตามเวลา ทั้งนี้เวลาที่จุด GPS เปลี่ยนจากวิ่งเป็นหยุดนั้นถูกกำหนดโดยเวลาเริ่มหยุด ($\hat{t}_{i,s}$) และเวลาที่จุด GPS เปลี่ยนจากหยุดหนึ่งเป็นวิ่งนั้นถูกกำหนดโดยเวลาสิ้นสุดการหยุด ($\tilde{t}_{i,s}$) ด้วยเหตุนี้จุด GPS ระหว่างพิกัดเวลาของจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการหยุดแต่ละครั้งจะถูกจัดกลุ่มและใช้ค่าเฉลี่ยละติจูดและค่าเฉลี่ยลองจิจูดเพื่อใช้เป็นตำแหน่งของจุดแวะพักที่เกิดขึ้น อาจมีการหยุดหลายครั้งในบางพื้นที่ที่ขนถ่ายสินค้าขนาดใหญ่ (เช่น นิคมอุตสาหกรรม ท่ารถบรรทุก ท่าเรือคอนเทนเนอร์ เป็นต้น) ซึ่งการเคลื่อนตัวของ GPS ในช่วงดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญ การหยุดหลายครั้งส่วนใหญ่เป็น

การรอและเข้าคิวขอรถบรรทุกเพื่อทำกิจกรรมเพียงกิจกรรมเดียวในพื้นที่ดังกล่าว เช่น รถบรรทุกเข้าคิวเพื่อรับตู้คอนเทนเนอร์ที่ท่าเรือคอนเทนเนอร์ เพื่อรวมการหยุดหลายครั้งที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมเดียว จึงได้กำหนดระยะเวลาเดินทางขั้นต่ำ (d_{min}) เพื่อใช้ในการระบุการหยุดทำกิจกรรม โดยการหยุดถูกระบุตามสมการที่ 8

$$\begin{aligned} d_{i,\tilde{s}} &\begin{cases} \geq d_{min}, & \tilde{s} + 1 \text{ is a new effective stop} \\ < d_{min}, & \tilde{s} + 1 \text{ is the same effective stops as } \tilde{s} \end{cases} \\ , \forall i \in \{1, \dots, M\}, \tilde{s} \in \{1, \dots, \tilde{S}_i\} \end{aligned} \quad (8)$$

โดยที่ $d_{i,\tilde{s}}$ คือระยะเวลาการเดินทางระหว่างจุดหยุด $\tilde{s}$ และ $\tilde{s} + 1$ ด้วยการระบุการหยุดที่อาจเกิดขึ้นตามสมการข้างต้น

ข้อมูล GPS สำหรับการหยุดเพื่อทำกิจกรรมสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 9

$$\begin{aligned} \tilde{G}_i &= \left\{ (\hat{t}_{i,1}, \tilde{t}_{i,1}, \tilde{\lambda}_{i,1}, \tilde{\varphi}_{i,1}), \dots, (\hat{t}_{i,s}, \tilde{t}_{i,s}, \tilde{\lambda}_{i,s}, \tilde{\varphi}_{i,s}) \right\} \\ &\quad , \dots, (\hat{t}_{i,S_i}, \tilde{t}_{i,S_i}, \tilde{\lambda}_{i,S_i}, \tilde{\varphi}_{i,S_i}) \\ , \forall i \in \{1, \dots, M\} \end{aligned} \quad (9)$$

โดยที่ $\tilde{G}_i$ คือ ชุดข้อมูล GPS ของการหยุดเพื่อทำกิจกรรมสำหรับรถบรรทุก i , $\tilde{\lambda}_{i,s}$ และ $\tilde{\varphi}_{i,s}$ คือ ค่าเฉลี่ยละติจูดและเฉลี่ยลองจิจูดของรถบรรทุก i ตามลำดับสำหรับการหยุด s

ด้วยวิธีการที่กล่าวถึงนี้ เพื่อระบุประเภทสินค้าที่บรรทุกโดยรถบรรทุก ข้อมูล GPS การหยุดของรถบรรทุกแต่ละคัน ($\tilde{G}_i$) สามารถอัปเดตตามลำดับการหยุดจากข้อมูล GPS ที่เกี่ยวข้องกับสินค้า (เช่น $\tilde{G}_i^c$, $\forall i \in \{1, \dots, M\}$) โดยที่ c คือประเภทสินค้าที่บรรทุกโดยรถบรรทุก i)

2.5 การระบุสถานที่ที่รถหยุดและการหาชนิดสินค้าเป้าหมาย

ในการระบุหาข้อมูลสถานที่จอดพักหรือขนถ่ายสินค้าจากทุก ๆ พิกัดเชิง GPS ของยานพาหนะที่เดินทางซึ่งมีข้อมูลขนาดใหญ่เป็น เรื่องที่ไม่สามารถทำได้โดยตรง ต้องทำ

ขบวนการจัดกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันเข้าไปอยู่ในกลุ่มเดียวกัน (Data clustering) เพื่อสามารถจำแนกพิภพข้อมูลที่ต้องการระบุตำแหน่งเป็นกลุ่มได้โดยใช้วิธีการจัดกลุ่มข้อมูลแบบ Partitioning method (เช่น K-mean และ K-medoid) หรือ แบบ Density-Based Method (เช่น DBSCAN) โดย [13] พบว่าการจัดกลุ่มโดยวิธี DBSCAN สามารถจำแนกสถานที่ที่รถหยุด ซึ่งมีความหนาแน่นของจุดหยุดที่หลากหลายในประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การสร้างข้อมูลตำแหน่งสถานที่สำคัญ ๆ (POI) ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้า (เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ท่าเรือ สถานีเปลี่ยนถ่ายสินค้า และด่านศุลกากร เป็นต้น) และที่ไม่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้า (เช่น จุดจอดพัก และสถานีบริการน้ำมัน เป็นต้น) ช่วยให้การระบุประเภทกิจกรรม ณ สถานที่ที่รถหยุดมีประสิทธิภาพ โดยประเภทสถานที่ที่รถหยุดต้องมีความสัมพันธ์กับห่วงโซ่การขนส่งในชนิดสินค้าที่ศึกษา

โดยสามารถจัดกลุ่มชนิดสินค้าที่ศึกษา เป็น 6 กลุ่ม (ครอบคลุมปริมาณการขนส่งสินค้ามากกว่าร้อยละ 70 ของประเทศ) ประกอบด้วย กลุ่มที่ 1 ข้าวเปลือก ข้าว กลุ่มที่ 2 อ้อย น้ำตาลทราย กากน้ำตาล กลุ่มที่ 3 ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ข้าวโพด อาหารสัตว์ กลุ่มที่ 4 ดิน หิน ทราย ถ่านหิน แร่ดิบซิม ปูนซีเมนต์ คอนกรีตผสมเสร็จ กลุ่มที่ 5 น้ำมันดิบ น้ำมันสำเร็จรูป ก๊าซปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ และกลุ่มที่ 6 สินค้าอื่น ๆ (กระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ/รถยนต์)

2.6 การหาประเภทการหยุด (ขนถ่ายสินค้าหรือหยุดพัก)

การวิเคราะห์หาประเภทกิจกรรมของแต่ละสถานที่ที่รถหยุด (เช่น หยุดขนถ่ายสินค้าหยุดแวะพักระหว่างทาง หรือหยุดจอดรถหลังสิ้นสุดการเดินทาง เป็นต้น) โดยใช้แบบจำลองการวิเคราะห์หาประเภทกิจกรรม ณ จุดหยุดเชิงสถิติ (เช่น Joint Probability Density Model Solving by Maximum Likelihood Estimation Method) จากข้อมูล GPS ร่วมกับฐานข้อมูลจุดจอดที่พัฒนาขึ้น (ตรวจสอบและยืนยันตำแหน่งจำนวนกว่า 40,000 จุด/ขอบเขตพื้นที่ (polygon) ดังเช่น [9] ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมระบุประเภทกิจกรรม) และข้อมูล

ตัวอย่างการสุ่มสำรวจเส้นทางของรถบรรทุกที่ติดตั้ง GPS และขนส่งสินค้าจริง

การทำนายประเภทกิจกรรมของจุดที่รถบรรทุกหยุด โดยการวิเคราะห์หาค่าความน่าจะเป็นของแต่ละกิจกรรมที่เป็นไปได้ ในแต่ละจุดที่รถบรรทุกหยุด ที่เหลือจากการคัดกรอง แสดงในหัวข้อที่ 2.4 (effective truck stop) โดยวิธี maximum likelihood estimation method สามารถแสดงได้ดังนี้

สมมติ set ของทางเลือก (choice set) ประเภทกิจกรรม f ที่ทำ ณ จุดหยุดรถบรรทุก ถูกกำหนดไว้ ดังสมการที่ 10

$$f \in \{1, \dots, F\} \quad (10)$$

โดยที่ F คือ จำนวนประเภทกิจกรรมที่เป็นไปได้ ณ จุดหยุดรถบรรทุก s ซึ่งหากพิจารณาการรถบรรทุกคันที่ i หยุดรถที่จุดหยุด s ทำกิจกรรมประเภท f นั้นตัวแปรบ่งชี้แสดงได้ดังสมการที่ 11

$$z_{i,s}^f = \begin{cases} 1, & \text{if user } i, \text{ is sequentially stopped by point } 1, \dots, s, \dots, S \\ & \text{performs activity type } f. \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (11)$$

และเนื่องจากพบว่าตัวแปรบ่งชี้ที่ใช้จำแนกประเภทกิจกรรม ณ จุดหยุด ประกอบด้วย ระยะเวลาที่รถอยู่ ณ จุดหยุด (vehicle dwell time, y) และระยะห่างระหว่างจุดหยุดและโครงข่ายถนน (x) มีการกระจายตัวแบบไม่สมมาตรเป็นอิสระ และสอดคล้องกับการกระจายตัวแบบ log normal distribution ด้วยเหตุนี้ สมการแสดงการกระจายตัวของตัวแปร x และ y แสดงได้ดังสมการที่ 12-13

$$\log y_f \sim N(\mu_{y,f}, \sigma_{y,f}^2) \quad (12)$$

$$\log x_f \sim N(\mu_{x,f}, \sigma_{x,f}^2) \quad (13)$$

โดยที่ y_f คือ ค่าสุ่มของระยะเวลาที่รถอยู่ ณ จุดหยุด และทำกิจกรรมประเภท f , x_f คือ ค่าสุ่มของระยะทางจัดระหว่างจุดหยุดและโครงข่ายถนนที่ใกล้ที่สุด และทำกิจกรรมประเภท f , $E(y_f), \sigma_{y,f}$ คือค่าเฉลี่ยและค่า S.D. ของ logarithm of y_f , $y_f \in \mathbf{y}$ and $\sigma_{y,f} \in \sigma$, $E(x_f), \sigma_{x,f}$ คือค่าเฉลี่ยและค่า S.D. ของ logarithm of x_f , $x_f \in \mathbf{x}$ and $\sigma_{x,f} \in \sigma$.

สำหรับการพัฒนาแบบจำลองการเลือกประเภทกิจกรรม ณ จุดที่รถหยุด แบบจำลองดังกล่าวสามารถเขียนในรูปฟังก์ชันแบบ joint probability density ของค่าสุ่มของตัวแปรบ่งชี้ $(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ ดังสมการที่ (12) และ (13) เพื่อให้ผลลัพธ์ของแบบจำลอง (ค่าเฉลี่ยและค่า S.D. ของตัวแปรบ่งชี้ $(\mathbf{x}, \mathbf{y})$) มีค่าเท่ากับค่าที่ได้จากการสำรวจ $(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z})$ เขียนอธิบายได้ดังสมการที่ 14

$$\tilde{q}(\Lambda|\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) =$$

$$\prod_{i=1}^N \prod_{s=1}^S \prod_{f=1}^F \left(\frac{f(E(y), \sigma_y|y) \cdot g(E(x), \sigma_x|x)}{g(E(x), \sigma_x|x)} \right)^{z_{i,s}^f} \quad (14)$$

โดยที่

$$f(\mu_y, \sigma_y|y)$$

$$= \left(\frac{1}{y_{i,s} \sigma_{y,f} \sqrt{2\pi}} \exp \left(\frac{-(\ln y_{i,s} - \mu_{y,f})^2}{2\sigma_{y,f}^2} \right) \right)$$

$$g(\mu_x, \sigma_x|x)$$

$$= \left(\frac{1}{x_{i,s} \sigma_{x,f} \sqrt{2\pi}} \exp \left(\frac{-(\ln x_{i,s} - \mu_{x,f})^2}{2\sigma_{x,f}^2} \right) \right)$$

$$\Lambda = \{\mu, \sigma\}$$

$$z_{i,s}^f$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{if truck } i \text{ stop at point } s \text{ with activity } f. \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

และหาก taking log ของสมการที่ 14 สมการ log-likelihood แบบสมบูร์นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 15

$$L(\Lambda|\mathbf{x}, \mathbf{y}) =$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^S \sum_{f=1}^F z_{i,s}^f \left(-(y_{i,s} \sigma_{y,f} + x_{i,s} \sigma_{x,f}) \sqrt{2\pi} - \frac{(\ln y_{i,s} - \mu_{y,f})^2}{2\sigma_{y,f}^2} - \frac{(\ln x_{i,s} - \mu_{x,f})^2}{2\sigma_{x,f}^2} \right) \quad (15)$$

หากกำหนดค่า $\mathbf{z}$ ซึ่งบ่งชี้การเลือกประเภทกิจกรรม ณ จุดหยุดที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง (μ และ σ) จะสามารถประมาณได้จากการแก้สมการ likelihood (14) หรือแก้สมการ log likelihood (15)

และตามหลักทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (laws of conditional probabilities) ความน่าจะเป็นของรถบรรทุก ที่หยุด ณ จุดลำดับที่ s ทำกิจกรรมประเภท f สามารถแสดงได้ดังสมการดังสมการที่ 16

$$\Pr(z_{i,s}^f = 1 | \mathbf{x}, \mathbf{y}, \Lambda) = \frac{\Pr(z_{i,s}^f = 1, \mathbf{x}, \mathbf{y} | \Lambda)}{\Pr(\mathbf{x}, \mathbf{y} | \Lambda)} \quad (16)$$

ตามหลักของ the Bayes' rule (ซึ่งค่าตัวแปรบ่งชี้ $z_{i,s}^f$ มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 ได้เท่านั้น) แสดงได้ดังสมการดังสมการที่ 17

$$\Pr(\mathbf{x}, \mathbf{y} | \Lambda) = \sum_{j=0}^1 \Pr(z_{i,s}^f = j, \mathbf{x}, \mathbf{y} | \Lambda) \quad (17)$$

กรณีแทนค่าความน่าจะเป็นจากสมการ 17 ลงในสมการ 16 จะได้สมการที่ 18

$$\Pr(z_{i,s}^f = 1 | x, y, \Lambda) = \frac{\Pr(z_{i,s}^f = 1, x, y | \Lambda)}{\sum_{j=0}^1 \Pr(z_{i,s}^f = j, x, y | \Lambda)} \quad (18)$$

โดยที่การกระจายตัวของค่าความน่าจะเป็นที่รถบรรทุกคันที่ i หยุดอยู่ที่จุดหยุดลำดับที่ s เป็นเวลา y และจุดหยุดมีระยะห่างจากถนนที่ใกล้ที่สุดระยะทางเท่ากับ x จะเลือกทำกิจกรรมประเภท f ซึ่งถูกใช้ในเทอมตัวเศษ หรือเทอมตัวส่วนในสมการ (18) นั้นสามารถหาค่าได้และเขียนรูปของฟังก์ชันแบบ joint probability density ของการเลือกทำกิจกรรมของรถบรรทุกในทุกคัน ดังสมการ (14) และใช้หลักของ “Bayes’ rule” ได้ดังสมการที่ 19

$$\Pr(z_{i,s}^f = j, x, y | \Lambda) = \sum_{\substack{\text{all combinations } \mathbf{z} \\ \text{with } z_{i,s}^f = j}} \tilde{q}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z} | \Lambda) \quad (19)$$

แต่เนื่องจากการเลือกทำกิจกรรมของรถบรรทุกแต่ละคันไม่เกี่ยวข้องกัน ทำให้ในทุก ๆ ความเป็นได้ของค่าตัวแปรบ่งชี้ $\mathbf{z}$ (all combination $\mathbf{z}$) สามารถลดรูปสมการ (19) เหลือเพียงค่า $\mathbf{z}$ ที่เกี่ยวข้องของรถบรรทุกเฉพาะของคันตนเองเท่านั้น ส่งผลให้ $z_{i,s}^f = 1$ เมื่อรถบรรทุกคันที่ i ทำกิจกรรมประเภท f ที่จุดหยุดลำดับ s หรือ $z_{i,s}^f = 0$ เมื่อรถบรรทุกคันดังกล่าวทำกิจกรรมประเภทอื่น ดังนั้นความน่าจะเป็นที่รถบรรทุกคันที่ i ทำกิจกรรมประเภท f ที่จุดหยุดลำดับ s สามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ 20-21

$$\Pr(z_{i,s}^f = 1 | x, y, \Lambda) = \frac{w_{i,s}^f}{\sum_{f'=1}^F w_{i,s}^{f'}} \quad (20)$$

$$\text{โดยที่ } w_{i,s}^f = \left(\frac{1}{y_{i,s} \sigma_{y,f} \sqrt{2\pi}} \exp \left(\frac{-(\ln y_{i,s} - \mu_{y,f})^2}{2\sigma_{y,f}^2} \right) \right) \cdot \left(\frac{1}{x_{i,s} \sigma_{x,f} \sqrt{2\pi}} \exp \left(\frac{-(\ln x_{i,s} - \mu_{x,f})^2}{2\sigma_{x,f}^2} \right) \right) \quad (21)$$

หรือสามารถเขียนรูปแบบสมการอย่างง่ายของค่าความน่าจะเป็นของรถบรรทุกที่เลือกทำกิจกรรมประเภท f แสดงได้ดังสมการที่ 22

$$\Pr(f) = \Pr(z_{i,s}^f = 1 | x, y, \Lambda) \quad (22)$$

โดยการทำนายในแต่ละจุดหยุดนั้นจะเลือกประเภทกิจกรรมที่มีค่าความน่าจะเป็นดังสมการ (22) ที่มีค่ามากที่สุด ซึ่งใช้หลักของ greedy selection approach นอกจากการใช้ตัวแปรเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลการเดินทางเชิง GPS โดยตรง (x และ y) เพื่อทำนายประเภทกิจกรรมของรถบรรทุก โดยแบบจำลองดังกล่าวข้างต้นสามารถใช้ข้อมูลประเภทอาคารหรือสถานที่ที่รถหยุดเพื่อช่วยเพิ่มความถูกต้องของแบบจำลองฯ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้ข้อมูลสถานที่จุดจอดรถบรรทุกในรูปของแผนที่ GIS เช่น ท่าเรือ ลานจอดตู้คอนเทนเนอร์ ลาดจอดรถบรรทุก โกดัง ศูนย์รวบรวมและกระจายสินค้า นิคมอุตสาหกรรม ศูนย์ขนส่งทางรถบรรทุก จุดพักรถ ลานรับซื้อสินค้าเกษตร และโรงงานประเภทต่าง ๆ (40,000 POI ทั้งแบบจุดและขอบเขต) เป็นต้น

โดยการประยุกต์หลักการของ the Bayesian rule ค่าความน่าจะเป็นของรถคันที่ i ณ จุดหยุด ลำดับที่ s ในสถานที่ประเภท a จะทำกิจกรรมประเภท f แสดงได้ดังสมการที่ 23

$$\Pr(f|a) = \frac{\Pr(a|f) \cdot \Pr(f)}{\Pr(a)} \quad (23)$$

โดยที่ a = ประเภทสถานที่ที่รถบรรทุกหยุด, $Pr(a)$ = ความน่าจะเป็นที่รถบรรทุกหยุดและทำกิจกรรมในสถานที่ประเภท a , $Pr(f)$ = ความน่าจะเป็น (prior) ที่รถบรรทุกหยุดและทำกิจกรรมประเภท f ดังแสดงในสมการ (22), $Pr(a|f)$ = ความน่าจะเป็นที่รถบรรทุกทำกิจกรรมประเภท f จะหยุดในสถานที่ประเภท a

โดยสมการความน่าจะเป็นที่รถคันดังกล่าว จะหยุดในสถานที่ประเภท a เขียนแสดงได้ดังสมการที่ 24

$$Pr(a|f) = \frac{N_a^f}{\sum_{a'=1}^A N_{a'}^f} \quad (24)$$

โดยที่ N_a^f = จำนวนครั้งที่รถหยุดทำกิจกรรมประเภท f จะหยุดรถในสถานที่ประเภท a และอาศัยหลักการของ “law of total probability” ความน่าจะเป็นที่รถบรรทุกหยุดและทำกิจกรรมบางอย่าง ในสถานที่ประเภท a แสดงดังนี้สมการที่ 25

$$Pr(a) = \sum_{f'=1}^F Pr(a|f') \cdot Pr(f') \quad (25)$$

หลังจากแทนค่าความน่าจะเป็นดังแสดงในสมการที่ 25 แทนค่าลงในสมการที่ 23 จะได้ความน่าจะเป็นที่หยุดที่สถานที่ a และ ทำกิจกรรม f แสดงได้ดังสมการที่ 26

$$Pr(f|a) = \frac{Pr(a|f) \cdot Pr(f)}{\sum_{f'=1}^F Pr(a|f') \cdot Pr(f')} \quad (26)$$

2.7 การวิเคราะห์หาสถานที่หลักสำหรับการขนส่งสินค้าเป้าหมาย

เนื่องด้วยแหล่งที่มาและลักษณะของข้อมูล GPS รถบรรทุกที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.1 และ 2.2 มีลักษณะเป็นข้อมูลแบบ passive ประเภทสินค้าที่สามารถคัดกรองได้เบื้องต้นในขั้นแรกนั้น สามารถพิจารณาได้จากประเภทรถบรรทุกที่จดทะเบียนไว้กับกรมการขนส่งทางบก

โดยเฉพาะรถบรรทุกที่มีการขนส่งสินค้าพิเศษ เช่น รถบรรทุกวัสดุอันตราย (น้ำมันหรือก๊าซ) และรถบรรทุกเฉพาะกิจ (ซีเมนต์ผลหรือคอนกรีตผสมเสร็จ) เป็นต้น โดยในขั้นตอนต่อไปคือการหาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงการเดินทางขนส่งของสินค้าแต่ละประเภทและรูปแบบสถานที่ที่รถบรรทุกหยุด ตัวอย่างเช่นรูปแบบการขนส่งข้าวเปลือกจะมีช่วงการขนส่งต้นทางจากท่าข้าวหรือลานรับซื้อข้าวเดินทางไปยังโรงสีข้าว ทั้งนี้สินค้าที่อาจผลิตได้จากโรงสีข้าวจะถูกขนส่งไปยังสถานที่ปลายทางต่อไป ดังเช่นข้าวถูกส่งไปยังโกดังคลังสินค้า/ศูนย์กระจายสินค้า/ศูนย์ส่งออก ด้วยรูปแบบการขนส่งสินค้าดังกล่าว โรงสีข้าวจึงถือเป็นจุดศูนย์กลางในการรับส่งสินค้าสำหรับสถานที่หลักสำหรับการขนส่งสินค้าข้าว/ข้าวเปลือก ทั้งนี้โรงสีกว่า 1,300 แห่ง (ครอบคลุมขนาดโรงสีขนาดกลางและขนาดใหญ่ทั้งหมด โดยที่เหลือเป็นโรงสีขนาดเล็ก ขนส่งในระยะสั้นภายในชุมชน) ได้ถูกนำมาพิจารณาพิจารณาหาประเภทสถานที่ต้นทางและสถานที่ปลายทาง จากข้อมูลพิกัด GPS ที่รถบรรทุกหยุดที่เกี่ยวข้องกับการขนถ่ายสินค้า ดังวิธีที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.5 ต่อเนื่องกันตลอดระยะเวลาอย่างน้อย 1 เดือน เป็นต้น

2.8 การหารูปแบบกิจกรรม ณ จุดหยุด

การหารูปแบบกิจกรรม ณ จุดหยุด คือการวิเคราะห์หารูปแบบกิจกรรมที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระหว่างที่มีการเดินทางของรถบรรทุก (รายละเอียดดังสมการที่ 3) ตัวอย่างรูปแบบกิจกรรม ณ จุดหยุด ซึ่งประกอบไปด้วย 1) ประเภทกิจกรรมที่ทำ ณ จุดหยุด ตั้งแต่เริ่มต้นเดินทางจนสิ้นสุดการเดินทาง และ 2) ลำดับในการทำกิจกรรมที่ทำ ณ จุดหยุด ตั้งแต่เริ่มต้นเดินทางจนสิ้นสุดการเดินทาง

2.9 การหารูปแบบกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการขนถ่ายสินค้า

เนื่องด้วยในบางช่วงการเดินทางมีการหยุดทำกิจกรรมที่ไม่เกี่ยวข้องกับการขนถ่ายสินค้า เช่น แวะพักกินข้าวหรือแวะพักที่สถานบริการน้ำมัน เป็นต้น สำหรับส่วนการวิเคราะห์หาปริมาณการเคลื่อนย้ายสินค้าที่เกี่ยวข้อง จึงมีการคัดเลือกรูปแบบกิจกรรมเฉพาะที่

เกี่ยวข้องกับการขนถ่ายสินค้า (Freight-Related Activity Pattern) จากรูปแบบกิจกรรมที่เกิดขึ้นทั้งหมดของรถบรรทุกแต่ละคัน ตั้งแต่เริ่มต้นเดินทางจนถึงจุดหมายปลายทางในการขนส่งสินค้าแต่ละครั้ง รายละเอียดนิยามของรูปแบบกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการขนถ่ายสินค้า แสดงดังสมการที่ 6a - 6b

2.10 การหาห่วงโซ่การเดินทางเคลื่อนย้ายสินค้า

เนื่องจากการเคลื่อนย้ายสินค้าโดยทั่วไปในแต่ละเที่ยวจะหยุดขนถ่ายสินค้าหรือทำกิจกรรมอื่นๆ ในหลายสถานที่ ส่งผลให้เกิดการเดินทางขึ้นหลายช่วง จึงได้พัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้จากรูปแบบการขนส่งสินค้า เพื่อใช้วิเคราะห์หาห่วงโซ่การเดินทางเคลื่อนย้ายสินค้า จากรูปแบบกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการขนถ่ายสินค้า ซึ่งวิเคราะห์ได้จากขั้นตอนที่ผ่าน

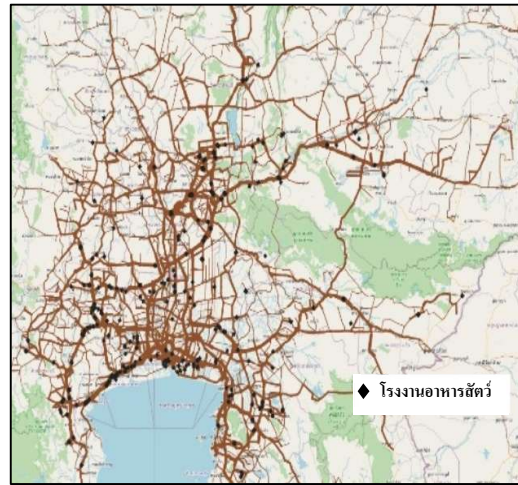
2.11 การพัฒนาฐานข้อมูลตำแหน่งสถานที่การทำงาน

กิจกรรมของสินค้าเป้าหมาย

ดังนั้นเห็นว่าข้อมูลตำแหน่งสถานที่การทำงานของสินค้าเป้าหมาย มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ประเภทกิจกรรม ณ จุดหยุดของรถบรรทุก ทั้งนี้สถานที่ที่รถบรรทุกหยุดทำกิจกรรมสามารถจำแนกออกเป็น 4 ประเภทหลักที่มีความถี่ในการหยุดรถสูง คือ 1) สถานที่หยุดเพื่อขนถ่าย เช่น โรงงาน โกดัง คลังสินค้า ศูนย์กระจายสินค้าและท่าเรือ เป็นต้น 2) สถานที่หยุดพัก/รอ (ลาดจอดรถบรรทุก) 3) สถานที่หยุดพัก/รอ (ไหล่ทาง/ริมถนน) และ 4) สถานที่หยุดพัก/รอ (สถานบริการน้ำมัน)

2.12 การหาเส้นทางของการเคลื่อนย้ายสินค้า

ข้อมูล GPS รถบรรทุกซึ่งได้มีการเก็บพิกัดการเดินทาง (ค่าละติจูด และค่าลองจิจูด) ต่อเนื่องตลอดเวลา ทำให้สามารถสร้างวิถีการเคลื่อนที่ของพิกัด GPS (GPS point trajectory) ของรถบรรทุกแต่ละคันได้ สามารถนำเอามาหาเส้นทางเดินทางจริงบนโครงข่ายในแต่ละช่วงการเดินทางที่เคลื่อนย้ายสินค้า โดยใช้วิธี Topological Map-Matching Method ซึ่งผลลัพธ์จะได้จำนวนเที่ยวบนเส้นทางเดินทางของโครงข่ายถนนในรูป GIS (ดังรูปที่ 1)



รูปที่ 1 ตัวอย่างเส้นทางของรถบรรทุกที่ขนส่งสินค้า
ประเภทอาหารสัตว์

2.13 การปรับขยายข้อมูลการเดินทางและการขนส่งสินค้า

2.13.1 การปรับขยายปริมาณการเดินทางระหว่างต้นทาง-ปลายทาง

เนื่องด้วยปริมาณการเดินทางบนโครงข่ายถนนที่วิเคราะห์ได้จากกลุ่มรถบรรทุกที่ติดตั้งระบบ GPS (จำนวนมากกว่า 4 แสนคัน ครอบคลุมการเดินทางขนส่งสินค้าทั้งประเทศ) ซึ่งมีรถบรรทุกบางส่วนอาจยังไม่ได้ติดตั้งระบบ GPS (กำหนดให้รถบรรทุกส่วนบุคคลที่จดทะเบียนกับ ขบ. ตั้งแต่ พ.ศ. 2559 ต้องติดตั้ง GPS) ด้วยเหตุนี้ จึงมีกระบวนการวิเคราะห์ปรับเทียบ/ปรับขยายข้อมูลห่วงโซ่การเดินทางจากกลุ่มรถบรรทุกที่ติดตั้งระบบ GPS ให้เป็นปริมาณการเดินทางระหว่างต้นทาง-ปลายทางของรถบรรทุกทั้งหมด โดยวิธีเชิงสถิติ Maximum Likelihood-Based OD Trip Estimation Method (เช่น [10] และ [13]) และทำการปรับเทียบผลการขยายข้อมูลการเดินทางกับปริมาณรถบรรทุกทั้งหมดบนถนนแต่ละช่วงจากข้อมูลผลสำรวจปริมาณจราจรเฉลี่ยตลอดวันของกรมทางหลวง

2.13.2 การปรับขยายปริมาณการเดินทางรายประเภทสินค้า

สำหรับการปรับขยายปริมาณการเดินทางรายประเภทสินค้า เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณการเดินทางทั้งประเทศ

ของรถบรรทุก โดยแยกตามต้นทาง-ปลายทาง (ในพื้นที่ย่อยเช่น ระดับอำเภอ) ทางขนส่งสินค้า และปริมาณการเดินทางบนโครงข่ายคมนาคมขนส่ง ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนรถบรรทุกที่ติดตั้ง GPS อยู่มากถึงกว่าสี่แสนคันทั่วประเทศ (คิดเป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 50 โดยประมาณ) อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดในการขยายปริมาณการเดินทางโดยตรง เนื่องจากข้อจำกัดด้านข้อมูลปริมาณรถบรรทุกที่วิ่งใช้งานจริงในแต่ละพื้นที่แยกรายสินค้า จึงใช้วิธีการปรับขยายตามข้อมูลปริมาณการผลิตและการใช้สินค้านายพื้นที่ (make and use table, MUTs) ซึ่งถูกพัฒนาโดยสำนักงานวิเคราะห์เศรษฐกิจ (Bureau of Economic Analysis, BEA) ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต (Input-Output Table) แสดงการหมุนเวียนของสินค้าของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยวิเคราะห์จากข้อมูลจริงที่ถูกรวบรวมโดยหน่วยงานต่างๆ สำหรับประเทศไทยข้อมูลดังกล่าวสามารถรวบรวมได้แยกรายกลุ่มสินค้า ดังเช่น 1) ข้อมูลปริมาณการผลิตสินค้าเกษตร (ข้าวเปลือก ข้าวโพด ผลผลิตถั่วเหลืองสำหรับป้อนสัตว์ และยางพารา) จากสถิติการเกษตรของประเทศไทย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2) ข้อมูลปริมาณการผลิตสินค้าอุตสาหกรรม จากสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม 3) ข้อมูลปริมาณการผลิตสินค้าด้านเชื้อเพลิงและพลังงาน จากกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน และ 4) ปริมาณการนำเข้าและส่งออกจากกรมศุลกากร เป็นต้น

ทั้งนี้ปริมาณการเดินทางรายประเภทสินค้านั้นรวมรายจังหวัด (เที่ยว) อนึ่งถูกพิจารณาเป็นตัวคุมปรับขยาย (Control data) ในการศึกษาครั้งนี้ สามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณการผลิตสินค้ารายจังหวัด (ตัน) หาดด้วยน้ำหนักบรรทุกรายชนิดสินค้า (ตันต่อเที่ยว) ที่ได้จากวิธีสำรวจภาคสนาม

2.14 การตรวจสอบความถูกต้อง

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการวิเคราะห์ข้อมูลการขนส่งสินค้าทางรถบรรทุก (หัวข้อที่ 2.4-2.13) ทำให้ได้ปริมาณการเคลื่อนย้ายสินค้าจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยจะเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองฯ โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงอันประกอบด้วย การ

ตรวจสอบระยะทางขนส่งเฉลี่ยต่อกลุ่มสินค้า และการตรวจสอบปริมาณจราจรรถบรรทุกซึ่งวิเคราะห์จากข้อมูล GPS กับข้อมูลปริมาณจราจรสำรวจบนโครงข่ายถนนทั่วประเทศ

3. ผลการศึกษาและวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ ระบบวิเคราะห์ข้อมูลการขนส่งสินค้าระดับประเทศถูกพัฒนาขึ้นด้วยข้อมูล GPS รถบรรทุกทั่วประเทศ ซึ่งข้อมูล GPS ดังกล่าวถูกจัดเก็บไว้ โดยกรมการขนส่งทางบกของประเทศไทย ซึ่งกำหนดให้รถบรรทุกทุกคันในประเทศไทยต้องติดตั้งระบบติดตามด้วย GPS ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 ทั้งนี้พบว่ามียานพาหนะประมาณร้อยละ 50 จากเป้าหมาย (จำนวนสี่แสนคัน) ที่ดำเนินการติดตั้งระบบดังกล่าวเรียบร้อยแล้ว อุปกรณ์ติดตามด้วย GPS ที่ติดตั้งจะให้ข้อมูลละติจูด ลองจิจูด ความเร็ว และการประทับเวลา (Time Stamps) ของรถบรรทุกที่ถูกติดตาม เพื่อให้การวิเคราะห์ข้อมูล GPS ในระบบฯ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องคัดกรองข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ออก (ดังหัวข้อที่ 2.2)

ในตัวอย่างเชิงประจักษ์ (Empirical Example) นี้ ได้กำหนดเกณฑ์ระยะเวลาจอดพักขั้นต่ำ (y_{min}) ไว้ที่ 20 นาที สำหรับสินค้าทั่วไป และเนื่องจากรถบรรทุกอาจมีการหยุดจอดหลายจุดภายในสถานประกอบการขนาดใหญ่ จึงได้กำหนดเกณฑ์ระยะทางขนส่งขั้นต่ำ (d_{min}) ไว้ที่ 2 กิโลเมตร สำหรับพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมหรือท่าเรือระหว่างประเทศ (เช่น [12]) ขณะที่พื้นที่สถานประกอบการประเภทอื่น ๆ ได้กำหนดค่า d_{min} ไว้ที่ 20 ถึง 100 เมตร เพื่อระบุจุดจอดรถบรรทุกที่มีการทำกิจกรรมอย่างมีนัยสำคัญ (Effective Truck Stops) ดังอธิบายในหัวข้อที่ 2.4 โดยได้สุ่มเลือกจุดจอดที่มีนัยสำคัญจำนวน 37,692 จุด มาเพื่อทำการวิเคราะห์ โดยในตัวอย่างเชิงประจักษ์นี้ได้จำแนกกิจกรรมของรถบรรทุกออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ การจอดพัก (Rest) และการขึ้นหรือลงสินค้า (Load/Unload หรือกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้า) ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้กระบวนการ Sequential Quadratic

Programming (SQP) ในโปรแกรม MATLAB เพื่อหาคำตอบ พารามิเตอร์ในแบบจำลองการเลือกประเภทกิจกรรม ณ จุดที่รถหยุด ซึ่งถูกวิเคราะห์โดยวิธีเชิงสถิติแบบ maximum likelihood estimation method โดยมี ร้อยละ ความแม่นยำในการทำนายประเภทกิจกรรม (ก่อนปรับปรุงผลการทำนายของแบบจำลองฯ ด้วยข้อมูลประเภทสถานที่ ณ จุดหยุด (ดังสมการ (26) ในหัวข้อที่ 2.6)) เท่ากับร้อยละ 85 ทั้งนี้หลังปรับปรุงแบบจำลองข้อมูลประเภทสถานที่ ณ จุดหยุดความแม่นยำในการทำนายประเภทกิจกรรมเพิ่มขึ้นมีค่ามากกว่าร้อยละ 90 ในชนิดสินค้าที่ทำการศึกษา และเมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ประเภทกิจกรรมพบว่ามีความแม่นยำในการทำนายได้ดีกว่าวิธีอื่น ([8]) เช่นวิธี Cuf-off method และวิธี support vector machine method (SVM) โดยระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลสำหรับแต่ละชุดข้อมูลนั้นน้อยกว่า 1 นาที เมื่อใช้เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (คุณสมบัติ 2 x Intel Xeon Silver 4214 2.2GHz 12Core/24T ความเร็วสูงสุด 3.20 GHz และ RAM 128 GB)

ทั้งนี้ระบบวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นจากระบบวิธีดังกล่าว ได้ถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลสำรวจ ดังตารางที่ 1 โดยตัวอย่างการแสดงผลการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 2 ซึ่งจากผลการพัฒนาแบบจำลองการเลือกประเภทกิจกรรม ณ จุดที่รถหยุด ของสินค้า 19 ชนิด (ดังตารางที่ 2) พบว่าระยะจัดระหว่างจุดหยุดถึงถนนเพื่อการขนถ่ายสินค้ามีระยะทางมากกว่าเพื่อการพักรอ โดยสินค้าในกลุ่มวัสดุก่อสร้าง (เช่น หิน ดิน ทราย ซีเมนต์ คอนกรีตผสมเสร็จ และยิปซัม) และสินค้าอุตสาหกรรม (เช่นอาหารสัตว์ กากน้ำตาลและกระดาษ) มีตำแหน่งจุดขนถ่ายสินค้าอยู่ห่างจากถนนโดยเฉลี่ยมากกว่า 100 เมตร อย่างไรก็ตามสินค้าบางชนิดเช่น น้ำมัน ก๊าซปิโตรเลียม (lpg) และ ก๊าซธรรมชาติ (cng) กลับมีตำแหน่งจุดขนถ่ายสินค้าอยู่ห่างจากถนนโดยเฉลี่ยน้อยกว่า 100 เมตร เนื่องจากตำแหน่งจุดขนถ่ายหลัก (เช่น สถานีบริการน้ำมัน และคลังน้ำมัน) ส่วนใหญ่ตั้งอยู่ริมถนนสำหรับในส่วนของระยะเวลาที่รถรอ ณ จุดหยุด พบว่าสินค้าโดยรวมมีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่รถหยุดรอเท่ากับ 121

นาที อย่างไรก็ตามสินค้าบางชนิดมีค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่รถหยุดรอน้อยกว่าค่าเฉลี่ยโดยรวมค่อนข้างมาก ตัวอย่างเช่นสินค้าประเภทคอนกรีตผสมเสร็จ รถยนต์ และก๊าซธรรมชาติ มีระยะเวลาเฉลี่ยในการจอดขนถ่ายสินค้าน้อยกว่า 40 นาที เพื่อหลีกเลี่ยงป้องกันการจับตัวของคอนกรีตผสมเสร็จ การเร่งขนถ่ายรถยนต์จากรถบรรทุกรถยนต์ที่ส่วนใหญ่จอดริมถนนเพื่อหลีกเลี่ยงสภาพจราจรติดขัด หรือลักษณะกล่องบรรทุกภัณฑ์ก๊าซธรรมชาติแบบตู้คอนเทนเนอร์ ทำให้สามารถเปลี่ยนถ่าย ณ สถานีบริการได้อย่างรวดเร็วกว่าสินค้าประเภทอื่นเป็นต้น สำหรับสินค้าเกษตรหรือสินค้าอุตสาหกรรมอื่น พบว่ามีค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่รถอยู่ ณ จุดหยุด เพื่อขนถ่ายสินค้ามากกว่า 60 นาที

ตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองวิเคราะห์ปริมาณเคลื่อนย้ายสินค้า

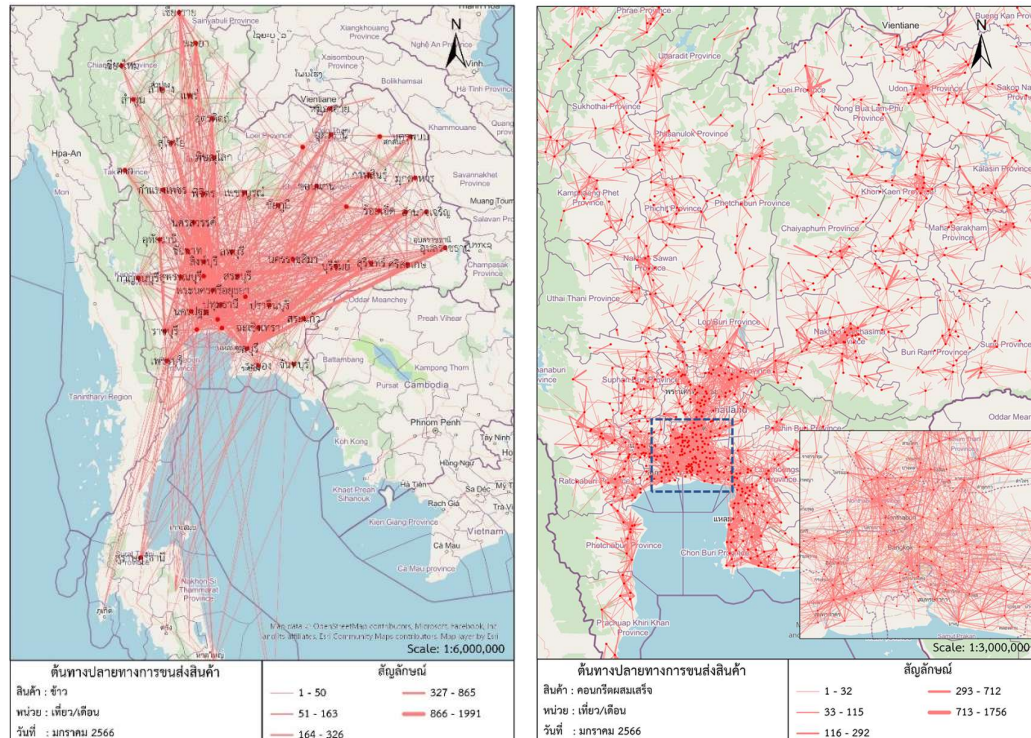
รายการตัวชี้วัด	ความแตกต่างที่ยอมรับได้สูงสุด ¹	ความแตกต่างผลจากระบบและจากการสำรวจ
ระยะทางขนส่งเฉลี่ยรายสินค้า	< 10%	อยู่ระหว่าง 1-8% ตามชนิดสินค้า (ผ่านเกณฑ์)
ปริมาณรถบรรทุกบนช่วงถนน	%RMSE < 40%	30% (ผ่านเกณฑ์)

ที่มา: ¹[15].

สำหรับคุณลักษณะของการเดินทางขนส่งสินค้าของรถบรรทุกวิเคราะห์ได้จากข้อมูล GPS ของรถบรรทุกจำนวน 234,543 คัน ใน 1 เดือน ซึ่งมีจำนวนเที่ยวขนส่งที่ระบุได้จำนวน 3,445,083 เที่ยว หรือคิดเป็นร้อยละเที่ยวขนส่งเท่ากับ 47 (ระเบียบวิธีวิเคราะห์แสดงดังหัวข้อที่ 2) พบว่าสินค้าบางชนิดมีระยะทางในการขนส่งสั้น ตัวอย่างเช่นการขนส่งน้ำมันดิบพบว่ามีรูปแบบการขนส่งส่วนใหญ่ขนส่งทางรถบรรทุกจากแหล่งน้ำมันสิริกิติ์ ไปยังสถานีรถไฟบึงพระ จังหวัดพิษณุโลก เพื่อเปลี่ยนถ่ายต่อไป

ยังรถไฟ สำหรับการขนส่งสินค้ากลุ่มก่อสร้าง เช่น คอนกรีตผสมเสร็จมีระยะเดินทางเฉลี่ยในแต่ละช่วง (trip leg distance) เท่ากับ 17 กิโลเมตร เนื่องจากมีจำนวนโรงงานผลิต (แพลนท์) คอนกรีตผสมเสร็จอยู่เป็นจำนวนมากและครอบคลุมในทุกพื้นที่ของประเทศ และด้วยข้อจำกัดด้านอายุการใช้งานคอนกรีตผสมเสร็จ ทั้งนี้สินค้า

โดยรวมส่วนใหญ่มีระยะเดินทางเฉลี่ยมากกว่า 100 กิโลเมตร ดังเช่นสินค้าซีเมนต์ เนื่องจากแหล่งผลิตซีเมนต์มีจำกัดอยู่บางพื้นที่ของประเทศ (ส่วนใหญ่อยู่จังหวัดสระบุรีและนครศรีธรรมราช) โดยรายละเอียดเพิ่มเติมคุณลักษณะของการเดินทางขนส่งสินค้าของรถบรรทุกรายชนิดสินค้าแสดงดังตารางที่ 3



รูปที่ 2 ตัวอย่างเส้นทาง-ปลายทางขนส่งสินค้าข้าวและคอนกรีตผสมเสร็จจากระบบวิเคราะห์

4. สรุป

ในการศึกษานี้ ระเบียบวิธีการพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลการขนส่งสินค้าระดับประเทศด้วยข้อมูล GPS รถบรรทุกถูกพัฒนาขึ้น และตัวอย่างผลลัพธ์จากระบบดังกล่าวถูกนำเสนอ โดยจากผลการศึกษาพบว่า การหาคำตอบพารามิเตอร์ในแบบจำลองการเลือกประเภทกิจกรรม ณ จุดที่รถหยุด ซึ่งถูกวิเคราะห์โดยวิธีเชิงสถิติแบบ maximum likelihood estimation โดยมีสมมติฐานกิจกรรมที่เกิดขึ้น ณ จุดหยุด มีด้วยกัน 2 ประเภทคือการหยุดเพื่อขนถ่ายสินค้าและหยุดพัก โดยการกระจายตัวของตัวแปรที่บ่งชี้ในแต่ละประเภทกิจกรรม

มีลักษณะแบบไม่สมมาตร (แบบ log normal distribution) โดยข้อดีของระเบียบวิธีดังกล่าวคือ 1) สามารถพิจารณาตัวแปรที่บ่งชี้ที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกแต่ละประเภทกิจกรรมได้มากกว่า 1 ตัวแปร (เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Cuf-off method ซึ่งพิจารณาได้ทีละตัวแปรเท่านั้น) และ 2) สามารถเปลี่ยนรูปแบบการกระจายตัวในแบบจำลองการเลือกประเภทกิจกรรม ณ จุดหยุด ที่สอดคล้องกับพฤติกรรมรถขนส่งสินค้ารูปแบบอื่นได้ (เช่นการแจกแจงแบบกัมเบล การแจกแจงแบบ Gamma การแจกแจงแบบไวบูล หรือ การแจกแจงแบบโลจิสติก เป็นต้น)

ตารางที่ 2 สรุปค่าเฉลี่ยและค่า SD ของระยะจัดถึงถนน (x_p) และระยะเวลาหยุด (y_p) รายชนิดสินค้า

Parameters	ประเภท กิจกรรม	น้ำตาล/ อ้อย	ข้าว	ข้าว เปลือก	มันสำ ประหลัง	ข้าว โพด	อาหาร สัตว์	กระ ดาษ
ค่าเฉลี่ยระยะทางจัดระหว่างจุด	พัก	22	22	22	20	25	19	18
หยุดและโครงข่ายถนนที่ใกล้ที่สุด	ขนถ่ายสินค้า	62	134	62	112	84	164	155
SD ของระยะทางจัดระหว่างจุด	พัก	7	7	7	4	8	6	6
หยุดและโครงข่ายถนนที่ใกล้ที่สุด	ขนถ่ายสินค้า	15	25	15	12	19	23	25
SD/mean ratio of distance	พัก	33%	32%	33%	20%	31%	31%	33%
	ขนถ่ายสินค้า	24%	19%	24%	11%	22%	14%	16%
ค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่รถอยู่ ณ จุด	พัก	33	26	33	27	28	26	39
หยุด (นาท)	ขนถ่ายสินค้า	125	152	125	111	104	215	113
SD ระยะเวลาที่รถอยู่ ณ จุดหยุด	พัก	8	7	8	7	7	7	10
(นาท)	ขนถ่ายสินค้า	21	25	21	19	18	26	17
SD/Mean ratio of dwell time	พัก	24%	25%	24%	25%	25%	25%	26%
	ขนถ่ายสินค้า	17%	16%	17%	17%	17%	12%	15%
จำนวนจุดหยุด (ตัวอย่าง)		2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Parameters	ประเภท กิจกรรม	กากน้ำ ตาล	ดิน	ทราย	ยิปซัม	หิน	cng	lpg
ค่าเฉลี่ยระยะทางจัดระหว่างจุด	พัก	23	20	31	23	23	8	14
หยุดและโครงข่ายถนนที่ใกล้ที่สุด	ขนถ่ายสินค้า	166	116	141	182	168	81	89
SD ของระยะทางจัดระหว่างจุด	พัก	7	7	10	7	7	3	5
หยุดและโครงข่ายถนนที่ใกล้ที่สุด	ขนถ่ายสินค้า	21	23	23	31	26	13	17
SD/mean ratio of distance	พัก	31%	34%	31%	32%	31%	39%	36%
	ขนถ่ายสินค้า	13%	20%	16%	17%	16%	16%	19%
ค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่รถอยู่ ณ จุด	พัก	32	25	29	31	30	13	26
หยุด (นาท)	ขนถ่ายสินค้า	135	113	82	89	91	23	108
SD ระยะเวลาที่รถอยู่ ณ จุดหยุด	พัก	8	7	8	8	8	4	7
(นาท)	ขนถ่ายสินค้า	23	21	16	17	17	4	18
SD/Mean ratio of dwell time	พัก	25%	27%	26%	26%	26%	28%	26%
	ขนถ่ายสินค้า	17%	19%	19%	19%	19%	19%	16%
จำนวนจุดหยุด (ตัวอย่าง)		1,666	1,666	2,000	2,000	2,000	2,000	1,006
Parameters	ประเภท กิจกรรม	น้ำมัน ดิบ	ถ่าน หิน	น้ำมัน	ซีเมนต์	คอนกรีต ผสมเสร็จ	รถยนต์	รวม
ค่าเฉลี่ยระยะทางจัดระหว่างจุด	พัก	45	33	10	27	24	14	21
หยุดและโครงข่ายถนนที่ใกล้ที่สุด	ขนถ่ายสินค้า	127	128	65	118	124	56	112
SD ของระยะทางจัดระหว่างจุด	พัก	11	9	3	8	8	8	7
หยุดและโครงข่ายถนนที่ใกล้ที่สุด	ขนถ่ายสินค้า	17	24	13	25	21	16	21
SD/mean ratio of distance	พัก	25%	29%	34%	30%	32%	54%	31%
	ขนถ่ายสินค้า	14%	18%	20%	21%	17%	28%	19%
ค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่รถอยู่ ณ จุด	พัก	41	41	22	38	24	23	26
หยุด (นาท)	ขนถ่ายสินค้า	124	136	133	55	37	37	121
SD ระยะเวลาที่รถอยู่ ณ จุดหยุด	พัก	10	10	6	9	6	6	7
(นาท)	ขนถ่ายสินค้า	19	21	19	13	9	6	17
SD/Mean ratio of dwell time	พัก	24%	25%	27%	25%	26%	26%	25%
	ขนถ่ายสินค้า	15%	16%	15%	24%	24%	16%	14%
จำนวนจุดหยุด (ตัวอย่าง)		1,520	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	37,692

ตารางที่ 3 คุณลักษณะของการเดินทางขนส่งสินค้าของรถบรรทุกรายชนิดสินค้า

คุณลักษณะการเดินทาง รถบรรทุก	น้ำตาล	ข้าว	ข้าวเปลือก	มันสำปะ หลัง	ข้าวโพด	อาหาร สัตว์	กระดาษ
จำนวนรถบรรทุกที่ระบุได้ (คัน)	31,692	14,387	12,739	14,371	7,783	11,854	9,729
จำนวนเที่ยวขนส่งที่ระบุได้ (เที่ยว)	191,469	84,259	67,590	129,522	60,692	118,945	79,960
ร้อยละเที่ยวขนส่งที่ระบุได้ (%)	47%	29%	45%	50%	51%	38%	53%
ระยะเดินทางเฉลี่ยในแต่ละช่วง (กม.)	223	183	92	186	114	144	125
ตำแหน่งสถานที่ต้นทาง	215	1,725	4,390	2,591	1,107	474	992
ตำแหน่งสถานที่ปลายทาง	614	1,920	1,250	2,293	1,451	1,480	3,011
สัดส่วนการเดินทางมีสินค้า/ไม่มี สินค้า	1.08	1.25	1.01	1.25	1.21	1.07	1.05
จำนวนรูปแบบ Commodity Trip Chain ที่แตกต่างกัน	89	91	91	86	115	55	364

คุณลักษณะการเดินทาง รถบรรทุก	กากน้ำ ตาล	ดิน	ทราย	ยิปซัม	หิน	cng	lpg
จำนวนรถบรรทุกที่ระบุได้ (คัน)	1,514	11,536	12,702	4,260	31,060	3,438	12,955
จำนวนเที่ยวขนส่งที่ระบุได้ (เที่ยว)	11,810	103,421	204,734	48,972	461,432	54,692	254,636
ร้อยละเที่ยวขนส่งที่ระบุได้ (%)	27%	12%	52%	71%	42%	49%	52%
ระยะเดินทางเฉลี่ยในแต่ละช่วง (กม.)	228	32	56	130	79	62	83
ตำแหน่งสถานที่ต้นทาง	85	1,380	683	91	518	2,792	188
ตำแหน่งสถานที่ปลายทาง	136	1,163	4,902	324	8,050	3,588	11,872
สัดส่วนการเดินทางมีสินค้า/ไม่มี สินค้า	1.04	1.02	1.01	1.20	1.05	1.03	1.03
จำนวนรูปแบบ Commodity Trip Chain ที่แตกต่างกัน	89	10	88	90	47	737	1,023

คุณลักษณะการเดินทาง รถบรรทุก	น้ำมันดิบ	ถ่านหิน	น้ำมัน	ซีเมนต์	คอนกรีต ผสมเสร็จ	รถยนต์	รวม
จำนวนรถบรรทุกที่ระบุได้ (คัน)	306	5,853	12,644	22,224	12,892	604	234,543
จำนวนเที่ยวขนส่งที่ระบุได้ (เที่ยว)	9,827	59,606	596,753	398,151	492,034	16,578	3,445,083
ร้อยละเที่ยวขนส่งที่ระบุได้ (%)	47%	67%	69%	48%	17%	41%	47%
ระยะเดินทางเฉลี่ยในแต่ละช่วง (กม.)	55	92	79	128	17	131	83
ตำแหน่งสถานที่ต้นทาง	121	52	14,337	187	2,120	35	34,083
ตำแหน่งสถานที่ปลายทาง	130	1,693	18,598	11,430	6,868	637	81,410
สัดส่วนการเดินทางมีสินค้า/ไม่มี สินค้า	1.08	1.32	1.00	1.14	1.00	1.22	1.07
จำนวนรูปแบบ Commodity Trip Chain ที่แตกต่างกัน	15	542	677	364	539	50	5,162

ทั้งนี้ระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลสำหรับแต่ละชุดข้อมูลนั้นน้อยกว่า 1 นาที และโดยทั่วไปแล้วการขนถ่ายสินค้ามีระยะเวลาในการหยุดรถนานกว่าการแวะพักอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามสินค้าบางชนิดมีระยะเวลาจอดเพื่อขนถ่ายสินค้าน้อยกว่า 60 นาที ดังเช่นสินค้ามีลักษณะบรรจุพิเศษ (เช่น คอนกรีตผสมเสร็จ เป็นต้น) ทำให้การใช้ตัวแปรระยะเวลาที่รอลงจอด ณ จุดหยุด มาใช้ระบุประเภทกิจกรรม ณ จุดหยุด เพียงตัวแปรเดียวอาจไม่เพียงพอ และจากผลการศึกษายังพบว่าตำแหน่งจุดต้นทางหรือปลายทางของการขนส่งสินค้าส่วนใหญ่อยู่ห่างจากโครงข่ายถนน เมื่อเปรียบเทียบกับจุดหยุดเพื่อแวะพัก ซึ่งส่วนใหญ่มีตำแหน่งอยู่ใกล้โครงข่ายถนนมากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเอาตัวแปรดังกล่าวมาประกอบการวิเคราะห์ด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ระบบวิเคราะห์ดังกล่าวได้ใช้ฐานข้อมูลจุดหยุดเพื่อปรับปรุงการระบุประเภทกิจกรรมแบบ Bayesian update และได้ถูกเปรียบเทียบผลลัพธ์กับข้อมูลสำรวจภาคสนาม เช่น ปริมาณรถบรรทุกบนถนน และ ระยะทางเดินทางขนส่งสินค้าเฉลี่ย ซึ่งพบว่าความแตกต่างของผลวิเคราะห์จากระบบและจากข้อมูลสำรวจไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ระบบวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นสามารถประมวลผลข้อมูล GPS ปริมาณมหาศาลในระดับหลายร้อยล้านจุดข้อมูลต่อวัน โดยแสดงผลในรูปแบบตัวชี้วัด (ดังรูปที่ 2) ตัวอย่างเช่นระบบดังกล่าวสามารถวิเคราะห์หาปริมาณการเคลื่อนย้ายสินค้ารวมได้มากกว่าสามล้านเที่ยวต่อเดือน จากรูปแบบกิจกรรม ณ จุดหยุดรถบรรทุกและห่วงโซ่การเดินทางขนส่งที่มีลักษณะเฉพาะจำนวนกว่าห้าพันรูปแบบ (ดังตารางที่ 3) เพื่อสนับสนุนการกำหนดนโยบายการวางแผนโครงสร้างพื้นฐานด้านโลจิสติกส์ และการบริหารจัดการระบบขนส่งสินค้าในระดับประเทศ อย่างไรก็ตามก็ตีข้อมูลการเดินทางขนส่งสินค้าที่วิเคราะห์ได้ อาจยังไม่ครอบคลุมการเดินทางขนส่งสินค้าในบางประเภท โดยเฉพาะการขนส่งสินค้าที่มีต้นทาง-ปลายทางภายในเมือง ที่ส่วนใหญ่ขนส่งโดยรถบรรทุกเล็ก 4 ล้อ เนื่องจากรถบรรทุกที่ติดตั้งอุปกรณ์ GPS ตามข้อกำหนดของกรมการขนส่งทางบก ส่วนใหญ่เป็นรถบรรทุกขนาดใหญ่

(รถบรรทุกตั้งแต่หกล้อขึ้นไป) ทั้งนี้ชนิดสินค้าที่อาจทำการศึกษาเพิ่มเติม ควรเป็นสินค้าที่มีการขนส่งโดยรถบรรทุกขนาดใหญ่เป็นหลัก โดยควรมีรูปแบบการทำกิจกรรม ณ จุดหยุดและรูปแบบห่วงโซ่การเดินทางขนส่งสินค้าที่ชัดเจน สามารถระบุประเภทสินค้าจากรูปแบบดังกล่าวได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนงบประมาณจากโครงการศึกษาการพัฒนาวัตกรรมการระบบวิเคราะห์ฐานข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data Analytics) เพื่อการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุก และการเดินทางของคนในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ระยะที่ 1 กรุงเทพมหานคร โดยสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Felipe, M. Sergio and J. E. Naranjo, "Definition of an enhanced map-matching algorithm for urban environments with poor GNSS signal quality," *Sensors*, vol. 16, no. 2, Art. no. 218, 2016.
- [2] S. P. Greaves and M. Figliozzi, "Collecting commercial vehicle tour data with passive global positioning system technology," *Transp. Res. Rec.*, no. 2049, pp. 158–166, 2008.
- [3] E. D. McCormack, X. Ma, C. Klocow, A. Curreri and D. Wright, "Developing a GPS-based truck freight performance measure platform," Washington State Dept. Transp., Olympia, WA, USA, Res. Rep. WA-RD 743.1, 2010, pp. 9–20.
- [4] X. Yang, Z. Sun, B. Xuegang and J. Holguin-Veras, "Urban freight delivery stop identification using GPS data," *Transp. Res. Rec.*, no. 2411, pp. 55–61, 2014.

- [5] K. Gingerich, H. Maoh and W. Anderson, "Classifying the purpose of stopped truck events: An application of entropy to GPS data," *Transp. Res. Part C, Emerg. Technol.*, vol. 64, pp. 17–27, Mar. 2016.
- [6] L. Sarti, L. Bravi, F. Sambo, L. Taccari, M. Simoncini and S. Salti, "A stop purpose classification from GPS data of commercial vehicle fleets," in *Proc. IEEE Int. Conf. Data Mining Workshops (ICDMW)*, New Orleans, LA, USA, 2017, pp. 280–287.
- [7] R. Aziz, M. Kedia, S. Dan, S. Basu, S. Sarkar, S. Mitra and P. Mitra, "Identifying and characterizing truck stops from GPS data," in *Advances in Data Mining: Applications and Theoretical Aspects* (Lecture Notes in Computer Science), vol. 9728, P. Perner, Ed. Cham, Switzerland: Springer, 2016, pp. 168–182.
- [8] T. Siriprote, A. Sumalee and H. W. Ho, "Statistical estimation of freight activity analytics from Global Positioning System data of trucks," *Transp. Res. Part E, Logist. Transp. Rev.*, vol. 140, Art. no. 101986, Aug. 2020.
- [9] J. Hu, S. Yang, Y. Yang, X. Xu and X. Zhang, "Identifying truck activity from Global Positioning System data based on satellite imagery," *Transp. Res. Rec.*, vol. 2679, no. 3, pp. 680–696, 2024.
- [10] E. Cascetta and F. Russo, "Calibrating aggregate travel demand models with traffic counts: Estimators and statistical performance," *Transportation*, vol. 24, no. 3, pp. 271–293, Aug. 1997.
- [11] Y. Pan, A. Kabiri, A. Darzi, M. Ashoori, Q. Sun and L. Zhang, "Truck trip and long-haul truck tour identification based on national-level truck GPS data," *Transportmetrica B: Transp. Dyn.*, vol. 14, no. 1, 2026.
- [12] A. Zanjani, "Deriving statewide freight truck flows from Global Positioning System (GPS) data," Graduate Theses and Dissertations, Univ. South Florida, Tampa, FL, USA, 2014.
- [13] T. Siriprote, A. Sumalee and S. Siriprote, "Development of program for national truck origin-destination estimations from passive GPS data," Innovation Hub – Smart City: Translational Research Fund, Council of University Presidents of Thailand, Final Rep., 2017.
- [14] T. Siriprote, "Innovation development of Big Data analytics system for truck freight and passenger travel in Bangkok and its vicinity, Phase 1: Bangkok," Office of Transport and Traffic Policy and Planning, Final Rep., 2023.
- [15] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Forecasting Metropolitan Commercial and Freight Travel*. Washington, DC, USA: The National Academies Press, 2008.