

การจัดเส้นทางรถขนส่งที่เวลาในการเดินทางขึ้นอยู่กับ ช่วงเวลา สำหรับคลังสินค้ารูปแบบครอสต็อก

Vehicle Routing Problem with Time Dependent Travel-Times at Cross Docking Warehouse

ฤทัย ลำประเสริฐ และ สรวิชัย เยาวสุวรรณไชย

สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Email : hotaru_kkoku@hotmail.com, sorawit.yao@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การขนส่งโดยใช้คลังสินค้าแบบครอสต็อกเป็นจุดผ่านในการจัดการสินค้าเพิ่มมากขึ้น หากมีการจัดการคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพจะสามารถช่วยลดต้นทุนสินค้าคงคลัง และต้นทุนการขนส่งได้ซึ่งหมายถึงสามารถช่วยลดระยะเวลาที่สินค้าอยู่ในห่วงโซ่อุปทานได้ด้วยเช่นกัน ในความเป็นจริงแล้ว เวลาที่ใช้ในการเดินทางขนส่งสินค้าในเส้นทางใดๆ จะไม่คงที่ แต่จะแปรผันตามสภาพการจราจรบนท้องถนนในแต่ละช่วงเวลา งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของการจัดเส้นทางรถขนส่งที่คำนึงถึงเวลาของการเดินทางในแต่ละช่วงเวลาของวัน รวมถึงการจัดตารางและลำดับรถขาออกสำหรับคลังสินค้าแบบครอสต็อก โดยคณะผู้วิจัยได้ทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์ด้วยวิธีกำหนดการเชิงเส้นผ่านโปรแกรม Lingo โดยผู้วิจัยสร้างปัญหาทดสอบจำนวน 15 ปัญหา แบ่งเป็น 3 ขนาด ได้แก่ 10 15 และ 20 node โดยมีขนาดละ 5 ปัญหา และกำหนดให้ช่วงเวลาเดินทางใน 1 วัน แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือช่วงเช้าและช่วงบ่าย ซึ่งทั้ง 2 ช่วงเวลามีการใช้เวลาเดินทางที่ไม่เท่ากัน ในแต่ละเส้นทางผลการวิจัยสามารถจัดเส้นทางรถขนส่งที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่ต่ำที่สุดได้ภายในเวลาที่ผู้วิจัยกำหนด

คำสำคัญ

การจัดเส้นทางรถขนส่ง เวลาที่ใช้ในการเดินทางที่แปรผันตามช่วงเวลา แบบจำลองคณิตศาสตร์คลังสินค้าแบบครอสต็อก

Abstract

At present, food industry has been rapidly growing. Therefore, more and more warehouses have been used as the transshipment point, or so-called cross-docking point. Effective warehouse management can help to reduce the inventory and transportation cost, including the duration that goods stay in a supply chain. When trucks deliver products to customers, traveling times are not constant but varies in different periods due to road traffic. This research aimed to

develop a mathematical model for scheduling trucks when traveling time on any road varied in different periods during the day, so-called the vehicle routing problem with time windows and time-dependent travel-times (VRP-TD TT), and also scheduling trucks when departing from a cross-dock point. The proposed mathematical model was computationally tested with 15 test problems which were divided into 3 sizes (10, 15, and 20 nodes) when each size has 5 test problems. In this model, a day was assumed to have 2 periods (morning and afternoon periods). It meant that, when traveling through a road, the traveling time of both periods was not equal. The result of computational experiment showed that the proposed mathematical model could be used for scheduling delivery trucks and could provide the solutions with the minimal total cost under reasonable time.

Keywords

vehicle routing problem, time dependent travel-times, mathematical model, cross docking warehouse

1. บทนำ

ปัจจุบันการดำเนินธุรกิจมักประสบปัญหาเรื่องของต้นทุนในการดำเนินงานที่สูงขึ้นโดยต้นทุนด้านการขนส่งนับเป็นสัดส่วนที่สูงมากกว่าต้นทุนในด้านอื่นๆ หลายบริษัทจึงพยายามที่จะลดต้นทุนในส่วนนี้ ซึ่งค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งนี้มาจากการใช้เวลาอยู่บนท้องถนนมากเกินไปจากสภาพการจราจรในระหว่างวันส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการเดินทางขนส่ง บางครั้งจึงไม่สามารถส่งสินค้าได้ทันตามกรอบเวลาที่ลูกค้าแต่ละรายกำหนดไว้ การขนส่งที่ตรงเวลาและรวดเร็วนี้ถือเป็นหัวใจสำคัญของอุตสาหกรรมทุกประเภท โดยเฉพาะประเภทอาหารที่เน่าเสียได้ง่ายหรืออาหารสดที่มีอายุการจัดเก็บสั้นที่ต้องขนส่งให้ตรงเวลาก็เพื่อรักษาคุณภาพและความสดใหม่ของสินค้า และนอกจากเรื่องของความรวดเร็วด้านการขนส่งแล้วยังต้องลดเวลาที่สินค้าอยู่ภายในคลังสินค้าด้วย เพื่อให้สินค้านั้นเสียเวลาอยู่ในห่วงโซ่อุปทานน้อยที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์การนำระบบคลังสินค้าแบบครอสต์อคมมาใช้ในการแก้ปัญหาพร้อมกับปัญหาการจัดเส้นทางในการเดินทางขนส่งด้วยโดยได้แนวคิดมาจาก

งานวิจัยของ Agustina และคณะ (2014) [1] เนื่องจากสินค้าจะถูกส่งมายังคลังสินค้าโดยรถขนส่งสินค้าขาเข้า (Inbound Vehicle) และจะคัดแยก รวบรวม กระจายสินค้า (Break Bulk) เพื่อจัดส่งตามความต้องการของลูกค้าตามเส้นทาง และความจุของรถขนส่งสินค้าขาออก (Outbound Vehicle) แต่บางครั้งอาจจะมีสินค้าที่ถูกถือครองไว้ในคลังสินค้าเช่นกัน ซึ่งโดยทั่วไปนั้นจะน้อยกว่า 24 ชั่วโมง [2] ส่งผลให้มีต้นทุนด้านการจัดเก็บสินค้า (Inventory Holding Cost) ที่ต่ำกว่าต้นทุนด้านการขนส่งสินค้า (Transportation Cost) ดังนั้นจึงต้องมุ่งเน้นการลดต้นทุนด้านการจัดส่งสินค้าเป็นหลักที่ผ่านมาการพัฒนาและการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในการเดินทางขนส่งเป็นปัญหาลำคัญที่ต้องจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) โดยลดจำนวนการใช้ยานพาหนะ และลดต้นทุนแปรผัน (Variable Cost) โดยแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในการเดินทางขนส่ง โดยทั่วไปแล้วข้อมูลระยะเวลาเดินทางในแต่ละจุดลูกค้าเป็นข้อมูลที่ไม่ได้คำนึงถึงช่วงเวลาและระยะเวลาเดินทางที่สอดคล้องกับเวลา

เป็นจริง กล่าวคือข้อมูลเวลาที่ใช้ในการเดินทางในแต่ละเส้นทางเป็นค่าคงที่เพียงค่าเดียวในทุกช่วงเวลา ซึ่งในความเป็นจริงนั้นระยะเวลาในการเดินทางผ่านลูกค้าจุดต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลานั้นจะมีการใช้ระยะเวลาเดินทางที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งที่คำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการเดินทางซึ่งจะแปรผันไปตามช่วงเวลาในระหว่างวันที่ขึ้นอยู่กับสภาพการจราจร (Vehicle Routing Problem with Time Windows and Time Dependent Travel-Times) [3] ซึ่งคำนวณหาเส้นทางที่ใช้ระยะเวลาเดินทางน้อยที่สุด โดยพิจารณาเส้นทางที่ผ่านจุดลูกค้าในช่วงเวลาที่แตกต่างกันการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งในลักษณะนี้ งานวิจัยฉบับนี้จะใช้คำย่อว่า “VRP-TDIT” และคลังสินค้าแบบครอสดีคจะใช้คำย่อว่า “คลังสินค้า” แทน ทั้งนี้หากมีความร่วมมือกันตลอดทั้งห่วงโซ่อุปทานอย่างมีประสิทธิภาพแล้วเชื่อว่าคุณภาพสินค้าที่อยู่ในมือผู้บริโภคต้องมีคุณภาพและความปลอดภัย ตลอดจนเป็นที่ยอมรับและตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้เป็นอย่างดี งานวิจัยนี้ประกอบด้วย 5 ส่วนดังนี้ ส่วนที่ 1 บทนำ ส่วนที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัยส่วนที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย และส่วนที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP)

คือปัญหาที่ต้องการหาเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมจากจำนวนของเส้นทางเดินรถที่เป็นไปได้ทั้งหมด เป็นวิธีที่ผู้ประกอบการด้านโลจิสติกส์ใช้เพื่อลดต้นทุนในการขนส่งและลดระยะเวลาในการจัดส่งสินค้า หาเส้นทางที่สั้นลงโดยผลเฉลยที่ได้จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์

(Objective) และข้อจำกัดในการแก้ปัญหา (Constraint) ที่เกิดขึ้น เนื่องจากสภาพการปฏิบัติงานจริง ให้สามารถหาเส้นทางรถขนส่งที่ขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละรายตามปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้า ภายใต้ข้อกำหนดในเรื่องของค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด หรือหาเวลาที่ใช้ในการเดินทางที่น้อยที่สุด โดยจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทางรถขนส่งจะต้องอยู่ที่คลังสินค้าเสมอการจัดเส้นทางในการเดินรถที่ดีและมีประสิทธิภาพนั้นจะส่งผลให้สามารถลดระยะทางในการขนส่งได้ และในบางครั้งยังสามารถลดจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งได้อีกด้วย เมื่อระยะทางและจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งลดลงส่งผลให้มลพิษที่เกิดขึ้นจากการขนส่งลดลง และยังทำให้ต้นทุนในการขนส่งของบริษัทลดลงอีกด้วย [4] ในส่วนของปัญหาการจัดเส้นทางรถโดยมีเงื่อนไขเรื่องของการรอบเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง (VRP with Time Window: VRPTW) โดยที่รถบรรทุกแต่ละคันมีข้อจำกัดเรื่องความสามารถในการบรรทุกสินค้าและเวลาที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละรายที่กระจายตัวออกไปตามพื้นที่ให้บริการ ซึ่งลูกค้าแต่ละรายจะกำหนดช่วงเวลารับสินค้า (Time Window) ไว้ด้วย ซึ่งมีทั้งแบบเคร่งครัดในการกำหนดเวลา (Hard Time Window: HTW) แบบเคร่งครัดนี้จะไม่สามารถฝ่าฝืนข้อจำกัดได้เลย ส่วนแบบไม่เคร่งครัด (Soft Time Window: STW) นั้นจะสามารถฝ่าฝืนได้ แต่หากฝ่าฝืนแล้วจะมีค่าปรับเกิดขึ้น[5]

2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งที่เวลาในการเดินทางขึ้นอยู่กับช่วงเวลา (Vehicle Routing Problem with Time Windows and Time Dependent Travel-Times: VRP-TDIT)

คือปัญหาการเลือกช่วงเวลาในการเดินทางเพื่อให้มีระยะเวลาเดินทางรวมต่ำที่สุดโดยมีระยะเวลาในการเดินทางจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทางเดียวกันในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกันไปตามสภาพการจราจรใน

ระหว่างวัน ดังนั้นปัญหาของการเดินทางให้ถึงจุดหมายปลายทางภายในกรอบเวลาที่กำหนด (Time Window) และมีเป้าหมายเพื่อให้ใช้เวลาที่น้อยที่สุดเป็นปัญหาสำคัญของการเดินทาง ซึ่งบางครั้งการออกเดินทางในช่วงเวลาที่มาก่อนก็ได้หมายความว่าถึงที่หมายเร็วกว่าการออกเดินทางในช่วงเวลาที่มาทีหลัง ซึ่งระยะเวลาที่ใช้เดินทางนั้นจะแปรผันตามสภาพการจราจรในแต่ละช่วงเวลา เช่น ในช่วงเวลาเร่งด่วนสภาพการจราจรจะหนาแน่นมากกว่าในช่วงเวลาปกติ [6] ในปัจจุบันมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการเลือกช่วงเวลาเดินทางที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น รวมถึงมีการพัฒนาโปรแกรมการค้นหาเส้นทางที่ใช้ระยะเวลาในการเดินทางน้อยที่สุดระหว่าง 2 สถานที่ใดๆ ดังเช่นในงานวิจัยของเกรียงศักดิ์ [7] มีการศึกษาเวลาเดินทางในโครงข่ายถนนในกรุงเทพฯ โดยใช้ข้อมูลสภาพการจราจรแบบเรียลไทม์ และข้อมูลพยากรณ์สภาพการจราจรระหว่างการเดินทางมาประมาณระยะเวลาในการเดินทางระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางใดๆ ในโครงข่ายถนน โดยผู้ใช้งานจะทราบถึงเส้นทางและระยะเวลาในการเดินทางที่คาดหวัง (Expected Travel Time) โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน โดยสามารถกำหนดกรอบเวลาที่จุดปลายทางได้ รวมทั้งประมาณเวลาที่ควรเริ่มต้นออกเดินทาง และแนะนำเส้นทางที่ใช้ระยะเวลาน้อยที่สุดให้ด้วย

2.3 ความหมายและหลักการของระบบคลังสินค้าแบบครอสต์็อก (Cross Docking)

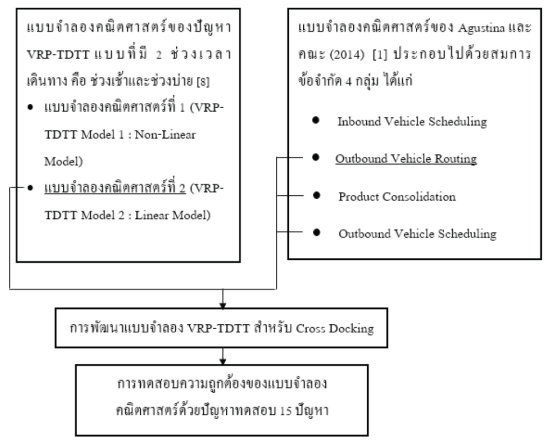
คลังสินค้า คือ ศูนย์ที่ทำหน้าที่ในการรับและส่งสินค้าตามเวลาที่กำหนด ซึ่งเป็นสถานที่ที่การขนถ่ายสินค้าและการบรรจุหีบห่อจะถูกรวบไว้ด้วยกัน และบางสถานที่ก็มีการลดจำนวนพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้า ดังนั้นการจัดการสินค้าขาเข้าและขาออกจึงต้องถูกจัดการอย่างมีระบบที่ชัดเจน [2] การลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิตสามารถทำได้โดยการลด

ขั้นตอนที่ไม่จำเป็น ซึ่งคลังสินค้าแบบที่เรียกว่าครอสต์็อก เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการลดพื้นที่จัดเก็บและการคัดเลือกสินค้าที่ช่วยให้ผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการด้านคลังสินค้าสามารถควบคุมระบบการแจกจ่ายสินค้าได้ดียิ่งขึ้น โดยสินค้าจะถูกส่งผ่านระบบการรับสินค้าและส่งตรงไปยังแผนกจัดส่งสินค้า โดยไม่มีการจัดเก็บในคลังสินค้า ดังนั้นหลักการสำคัญของระบบคลังสินค้าแบบครอสต์็อกคือ การลดพื้นที่จัดเก็บและการลดขั้นตอนที่มากมายซับซ้อนซึ่งสินค้าจะมาจากผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการหลายๆ ราย แล้วนำมาคัดแยก รวบรวมเพื่อจัดส่งให้ร้านค้าปลีกหรือลูกค้าแต่ละราย จึงเหมาะกับลักษณะของธุรกิจที่เป็นผู้ค้าปลีกหรือร้านค้าปลีก (retailer Consumer Goods) เพราะฉะนั้นคลังสินค้าแบบครอสต์็อก จึงทำหน้าที่เป็นผู้ให้บริการในการเปลี่ยนถ่ายสินค้าระหว่างพาหนะ ซึ่งใช้ในการขนส่ง โดยครอสต์็อกจะมีลักษณะคล้ายคลังสินค้าที่มี 2 ด้าน ด้านหนึ่งใช้สำหรับรับสินค้า (Receiving Dock) และอีกด้านหนึ่งใช้ในการจัดส่งสินค้า (Shipping Dock)

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีกำหนดการเชิงเส้นตรง (Linear Integer Programming Problem) ในการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางขนส่ง โดยได้อ้างอิงลักษณะของปัญหาจากงานวิจัยของ Agustina และคณะ (2014) [1] ซึ่งเป็นการขนส่งแบบมีกรอบเวลา (Vehicle Routing Problem with Time Windows : VRPTW) และงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้เพิ่มเงื่อนไขของเวลาในการเดินทางที่จะแปรเปลี่ยนไปตามช่วงเวลาของวันๆ หนึ่ง (Time Dependent Travel-Times : TDTT) เข้าไปในแบบจำลองของ Agustina เมื่อพิจารณาเงื่อนไขที่รถบรรทุกไปส่งสินค้าให้ลูกค้าตามลำดับเวลา รวมถึงการจัดตารางลำดับรถขนส่งสินค้าขาเข้าและขาออกของ

คลังสินค้า ครอสดีค เพื่อให้รถขนส่งเรียงลำดับและเลือกเข้าประตูได้อย่างเหมาะสม การสร้างรูปแบบเชิงคณิตศาสตร์จึงประกอบด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์และฟังก์ชันเงื่อนไขที่สอดคล้องกับปัญหาดังกล่าว โดยงานวิจัยก่อนหน้านี้ของคณะผู้วิจัย [8] ได้พัฒนาแบบจำลอง VRP-TDIT 2 แบบจำลองคือ VRP-TDIT แบบจำลองที่ 1 และ 2 จากภาพที่ 1 ขอบเขตของงานวิจัยนี้ เริ่มจากการนำงานวิจัยในอดีตของคณะผู้วิจัยที่พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของปัญหา VRP-TDIT แบบที่มี 2 ช่วงเวลาเดินทาง คือ ช่วงเช้าและช่วงบ่าย และนำไปพัฒนาต่อยอดกับงานวิจัยของ Agustina และคณะ (2014)



ภาพที่ 1 ขอบเขตของงานวิจัย

ซึ่งมีความสัมพันธ์กันในส่วนของปัญหา VRP โดยที่งานวิจัยของ Agustina และคณะ (2014) นั้นได้แบ่งกลุ่มสมการข้อจำกัดของการทำงานออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแรก Inbound Vehicle Scheduling เป็นการจัดลำดับรถของซัพพลายเออร์ที่จะเข้ามาส่งสินค้าที่คลัง โดยจะต้องจอดรอที่ลานจอดรถก่อน กลุ่มที่สอง Product Consolidation คือการจัดเก็บ หรือรวบรวมสินค้าที่มาจากแต่ละซัพพลายเออร์ ก่อนที่จะกระจายสินค้าของแต่ละลูกค้าไปยังประตูขาออก เพื่อรอการจัดส่ง กลุ่มที่สาม Outbound Vehicle Scheduling เป็นการจัดลำดับรถบรรทุกของคลังสินค้าที่จะเข้ามา

รับสินค้าเพื่อไปส่งให้กับลูกค้าตามเส้นทางต่างๆ และกลุ่มที่สี่ Outbound Vehicle Routing เป็นการจัดการเส้นทางรถขนส่งไปยังลูกค้าแต่ละราย โดยงานวิจัยนี้จะนำกลุ่มสมการเฉพาะ Outbound Vehicle Routing, Product Consolidation และ Outbound Vehicle Scheduling มาใช้เท่านั้น ไม่ได้นำกลุ่มที่หนึ่งคือ Inbound Vehicle Scheduling มาใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งแบบจำลองคณิตศาสตร์ของงานวิจัยนี้มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือสมการเป้าหมายที่ต้องการให้มีต้นทุนในการดำเนินงานต่ำที่สุด

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยก่อนหน้านี้ของคณะผู้วิจัย คือ งานการพัฒนา VRP-TDIT 2 แบบจำลอง [8] โดยงานวิจัยนี้ได้นำแบบจำลองที่ 2 มาใช้ต่อ โดยจะนำมาแสดงให้ดูอีกครั้งหนึ่งในบทความนี้ และผู้วิจัยได้กำหนดหมายเลขของสมการให้มีความแตกต่าง โดยการใส่ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังลำดับเลข เพื่อสื่อความหมายให้ชัดเจน เช่น 1T หมายความว่า เป็นสมการลำดับที่ 1 ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ 2 และเป็นสมการที่ใช้ในเรื่องของการเลือกช่วงเวลาเดินทาง หรือ TDIT โดยสมการที่ลงท้ายด้วยตัวอักษร L คือได้มีการแก้ไขให้เป็นสมการเส้นตรงแล้ว หรือทำการ Linearize แล้ว

4.1 VRP-TDIT แบบจำลองที่ 2 (Linear Model)

มีสมมติฐาน (Assumption) ดังต่อไปนี้

- 1) มีคลังสินค้าเพียง 1 แห่ง
- 2) รถบรรทุกขาออกที่ถูกใช้งานจะต้องเริ่มต้นออกเดินทางที่คลังสินค้าและกลับมาสิ้นสุดที่คลังสินค้าเช่นเดิม
- 3) ทราบจำนวนลูกค้าและตำแหน่งที่ตั้งที่แน่นอน
- 4) ทราบปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าก่อนล่วงหน้า
- 5) ช่วงเวลาและระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางจะแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเช้าใช้สัญลักษณ์แทนด้วย

$P = 1$ คือนาทีที่ 0 - 239 และช่วงบ่ายใช้สัญลักษณ์แทนด้วย $P = 2$ คือนาทีที่ 240 - 480

สัญลักษณ์ (Notations) ที่ใช้มีดังต่อไปนี้

ดัชนีที่ใช้ระบุถึงลูกค้าแทนด้วยตัวแปร i, j, w ตัวแปร k แทนดัชนีของรถบรรทุก ตัวแปร P แทนดัชนีของช่วงเวลาเดินทาง กำหนดให้ P แทนเซตของ node ของลูกค้าและคลังสินค้ากำหนดให้ π มีค่าเท่ากับจำนวนของ node ทั้งหมดในปัญหา และ N_{cus} แทนเซตของจำนวนลูกค้าเท่านั้นกำหนดให้ K แทนเซตของรถบรรทุกทั้งหมด กำหนดให้ P แทนเซตของช่วงเวลาเดินทางทั้งหมด $t_{i,j}^P$ แทนระยะเวลาเดินทางจาก node i ไป node j ในช่วงเวลา P และ $t_{i,j}^*$ แทนระยะเวลาเดินทางจริงจาก node i ไป node j ตัวแปร C_k แทนปริมาณความจุของรถบรรทุกแต่ละคัน (มีหน่วยเป็นพาลเลต) ตัวแปร $PU + PL$ แทนเวลาเฉลี่ยในการยกสินค้าขึ้นลง Loading และ Unloading โดยที่ PU คือ Unloading และ PL คือ Loading ตัวแปร d_i แทนปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้า i (มีหน่วยเป็นพาลเลต) ตัวแปรตัดสินใจมีดังต่อไปนี้ $x_{i,j,k}^P$ มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่ามีการเดินทางจาก node i ไป node j ในช่วงเวลา p โดยรถคันที่ k และมีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าไม่มีการเดินทางจาก node i ไป node j ในช่วงเวลา p โดยรถคันที่ k , $at_{i,k}$ แทนเวลาที่มาถึงลูกค้า i โดยรถคันที่ k , $dt_{i,k}$ แทนเวลาที่ออกจากลูกค้า i โดยรถคันที่ k , $dt_{i,k}$ แทนเวลาล่าช้าระหว่างทางจาก node i ไป node j , $ts_{i,k}$ แทนเวลาล่าช้าที่ลูกค้า i โดยรถบรรทุกคันที่ k และ $\sigma_{i,k}$ แทนลำดับการมาถึงที่ลูกค้า i ของรถบรรทุกคันที่ k

แบบจำลองคณิตศาสตร์ของ VRP-TDIT ที่ 2 [8]

$$\text{Minimize } \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{p \in P} t_{i,j}^p x_{i,j,k}^p \quad (1T)$$

โดยที่:

$$\sum_{i \in N_{cus}} \sum_{j \in N} \sum_{p \in P} d_i x_{i,j,k}^p \leq C_k, \quad \forall k \in K, \quad (2T)$$

$$\sum_{j \in N_{cus}} \sum_{i \in N} \sum_{p \in P} x_{0,j,k}^p \leq 1, \quad \forall k \in K, \quad (3T)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N} \sum_{p \in P} x_{i,j,k}^p = 1, \quad \forall i \in N_{cus}, \quad (4T)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{p \in P} x_{i,w,k}^p - \sum_{j \in N} \sum_{p \in P} x_{w,j,k}^p = 0, \quad \forall w \in N_{cus}, \quad k \in K, \quad (5T)$$

$$x_{i,j,k}^p (at_{i,k} + PU + PL + t_{i,j}^*) \leq at_{j,k}, \quad \forall i, j \in N_{cus}, i \neq j, k \in K, p \in P, \quad (6T)$$

$$x_{0,j,k}^p (t_{0,j}^p - at_{j,k}) \leq 0, \quad \forall j \in N_{cus}, \quad k \in K, p \in P, \quad (7T)$$

$$(\pi - 3)x_{i,j,k}^p + (\pi - 1)x_{i,j,k}^p + \sigma_{i,k} \leq \sigma_{j,k} + (\pi - 2), \quad \forall i, j \in N_{cus}, k \in K, p \in P, \quad (8T)$$

$$dt_{i,k} = (at_{i,k} + PU + PL), \quad \forall i \in N_{cus}, \quad k \in K, \quad (9T)$$

$$t_{i,j}^* = \sum_{p \in P} t_{i,j}^p x_{i,j,k}^p, \quad \forall i, j \in N, \quad k \in K, \quad (10T)$$

$$\frac{dt_{i,k}}{240} - 1 < x_{i,j,k}^2 \leq \frac{dt_{i,k}}{240}, \quad \forall i \in N_{cus}, j \in N, k \in K, \quad (11T)$$

$$\sum_{p \in P} x_{i,j,k}^p \leq 1, \quad \forall i, j \in N, \quad k \in K, \quad (12T)$$

$$x_{i,i,k}^p = 0, \quad \forall i \in N, k \in K, p \in P, \quad (13T)$$

$$ts_{i,k} = dt_{i,k} - at_{i,k} - (PU + PL), \quad \forall i \in N, \quad k \in K, \quad (14T)$$

$$td_{i,j} \geq at_{j,k} - t_{i,j}^* - dt_{i,k}, \quad \forall i \in N, \quad k \in K, \quad (15T)$$

$$1 - \sum_{i \in N} x_{i,j,k}^2 \geq \sum_{w \in N} x_{j,w,k}^1, \quad \forall j \in N, \quad k \in K, \quad (16T)$$

$$x_{i,j,k}^p \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \in N, k \in K, p \in P, \quad (17T)$$

$$td_{i,j}, t_{i,j}^* \in Z_+, \quad \forall i, j \in N, i \neq j, \quad (18.1T)$$

$$ts_{i,k}, at_{i,k}, dt_{i,k} \in Z_+, \quad \forall i \in N_{cus}, \quad k \in K, \quad (18.2T)$$

$$\sigma_{i,k} \in \text{Integer}, \quad \forall i \in N_{cus}, \quad k \in K, \quad (19T)$$

$$at_{i,k} + t_{i,j}^* + (PU + PL) - G(1 - x_{i,j,k}^p) \leq at_{j,k}, \quad \forall i, j \in N_{cus}, i \neq j, k \in K, p \in P, \quad (6L)$$

$$t_{0,j}^p - G(1 - x_{0,j,k}^p) \leq at_{j,k}, \quad \forall j \in N_{cus}, \quad k \in K, \quad p \in P. \quad (7L)$$

สมการที่ 1T คือสมการเป้าหมายเพื่อหาค่าระยะเวลาเดินทางรวมที่ต่ำที่สุด **สมการที่ 2T** กำหนดให้ปริมาณการขนส่งสินค้าไม่ให้บรรทุกเกินความจุของรถบรรทุกแต่ละคัน (C_k) **สมการที่ 3T** กำหนดให้รถบรรทุกถ้ารถคันไหนมีการใช้งานรถคันนั้นจะต้องเริ่มต้นออกจากคลังสินค้าเสมอ **สมการที่ 4T** กำหนดให้ลูกค้าแต่ละรายจะต้องได้รับการบริการ 1 ครั้ง **สมการที่ 5T** กำหนดเป็นการทำ Node Balance ถ้ามีการเข้า node ก็จะต้องมีการออกจาก node ด้วยจำนวนครั้งที่เท่ากันเสมอ **สมการที่ 6T** เป็นการกำหนดให้เวลาที่มาถึง node j จะต้องมีความมากกว่าหรือเท่ากับเวลาที่มาถึง node i บวกกับเวลาที่ให้บริการที่ node i และบวกระยะเวลาเดินทางจาก node i ไป node j โดยสมการนี้เกิดการคูณกันของตัวแปรตัดสินใจ $x_{i,j,k}^p$ และ $at_{i,k}$ ทำให้เกิดเป็น

สมการไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นจึงแก้ไขให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงตามสมการที่ 6L โดยใช้ค่าคงที่ G มาช่วยในการแปลงสมการให้เป็นสมการเส้นตรง (สมการที่ 6L วางอยู่ลำดับต่อท้ายสมการที่ 19T) **สมการที่ 7T** เป็นการกำหนดให้เวลาที่มาถึง node j ที่มีการเริ่มต้นออกเดินทางจากคลังสินค้าจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับระยะเวลาเดินทางจากคลังสินค้าไป node j โดยสมการนี้เกิดการคูณกันของตัวแปรตัดสินใจ $x_{0,j,k}^D$ และ $at_{j,k}$ ทำให้เกิดเป็นสมการไม่เป็นเชิงเส้นเช่นกัน ดังนั้นจึงแก้ไขให้อยู่ในรูปของสมการที่ 7L โดยใช้ค่าคงที่ G มาช่วยในการแปลงสมการ **สมการที่ 8T** กำหนด Break Sub-tour เพื่อป้องกันไม่ให้เกิน tour ย่อยของรถบรรทุกแต่ละคัน [9] **สมการที่ 9T** กำหนดให้เวลาที่ออกจาก node เท่ากับเวลาที่มาถึง บวกกับเวลาในการยกสินค้าขึ้นลง **สมการที่ 10T** เป็นการกำหนดระยะเวลาเดินทางที่ใช้จริงของแต่ละเส้นทางที่มีรถวิ่งผ่านหรือตัวแปร $t_{i,j}^*$ **สมการที่ 11T** เป็นการตัดสินใจเลือกช่วงเวลาเดินทางในช่วงเช้าหรือบ่าย โดยเลือกจากค่าเวลาที่ออกจาก node ถ้าน้อยกว่า 240 นาที จะใช้เวลาช่วงเช้า ($p = 1$) และถ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 240 นาที จะใช้เวลาช่วงบ่าย ($p = 2$) **สมการที่ 12T** กำหนดให้รถบรรทุกแต่ละคันสามารถเดินทางจาก node ใดๆ ไป node ใดๆ ในช่วงเวลาเดียวเท่านั้น อาจจะเป็นช่วงเช้าหรือบ่าย แต่ไม่สามารถออกเดินทางได้มากกว่า 1 ช่วงเวลา **สมการที่ 13T** เป็นการป้องกันไม่ให้รถบรรทุกวนซ้ำอยู่ที่จุดเดิม หรือ node เดิม **สมการที่ 14T** เป็นการกำหนดเพื่อคำนวณค่าเวลาล่าช้าในการเดินทางโดยการรอเวลาอยู่ที่ node ลูกค้านี้เพื่อให้การจราจรเบาบางถึงออกเดินทางซึ่งอาจจะทำให้ถึงที่หมายเร็วกว่าเดิม **สมการที่ 15T** สำหรับคำนวณค่าเวลาล่าช้าเช่นกัน แต่เป็นการรอเวลาอยู่ในเส้นทางระหว่างทางจาก node ใดๆ ไป node ใดๆ **สมการที่ 16T** เป็นการป้องกันไม่ให้รถบรรทุกบางคันเกิดการวิ่งกลับช่วงเวลา เช่น ออก

เดินทางจาก node 1 ไป node 2 ในช่วงเวลาบ่าย แต่หลังจากนั้นมีการออกเดินทางจาก node 2 ไป node 3 โดยใช้ช่วงเวลาเช้าในการเดินทางแทนซึ่งจะขัดแย้งกับความเป็นจริงในเรื่องของช่วงเวลาเดินทาง **สมการที่ 17T** เป็นตัวแปรตัดสินใจ ใช้ในการเลือกเส้นทาง ช่วงเวลาเดินทาง และรถบรรทุกเป็นค่าระหว่าง 0 หรือ 1 เท่านั้น **สมการที่ 18.1T – 18.2T** กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจต้องมีค่าเป็นจำนวนจริงบวกเท่านั้น **สมการที่ 19T** กำหนดให้ลำดับการมาถึงลูกค้าต้องเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น **สมการที่ 6L** ใช้แทนสมการที่ 6T และ**สมการที่ 7L** ใช้แทนสมการที่ 7T เพื่อทำให้เป็น Linear Model

4.2 แบบจำลองVRP-TDIT สำหรับครอสดีค

ลำดับต่อไปคณะผู้วิจัยได้นำแบบจำลอง VRP-TDIT ที่ 2 มาพัฒนาต่อยอดเพื่อให้คำนึงถึงการทำงานร่วมกับระบบคลังสินค้าแบบครอสดีคซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานรวมทั้งต่ำที่สุด โดยผู้วิจัยจะใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษ A เพื่อระบุว่าสมการใดเป็นสมการดั้งเดิมของ Agustina โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ และจะใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษ AT เพื่อระบุว่าสมการใดเป็นสมการที่ผู้วิจัยได้พัฒนาต่อยอดมาจากสมการดั้งเดิมของ Agustina โดยใส่ข้อจำกัดเรื่องของ TDIT ได้แก่ สมการที่ 10T – 19T เพิ่มเติมเข้าไปแล้วด้วย ดังต่อไปนี้

สมมติฐานเพิ่มเติม

ข้อ 1-5 จะเหมือนกับสมมติฐานของแบบจำลอง VRP-TDIT ที่ 2 ทุกประการ

6) ประตูขาออก (Outbound Dock Door) ทุกประตูจะถูกใช้งานทั้งหมด

7) พื้นที่การจัดเก็บสินค้าภายในคลังสินค้าไม่จำกัด และเพียงพอต่อการใช้งาน

สัญลักษณ์เพิ่มเติม

ตัวแปรที่ใช้เพิ่มเติมจากแบบจำลอง VRP-TDIT ที่ 2 มีดังนี้ h แทนดัชนีของประตูขาออกของคลังสินค้า k แทนดัชนีของรถบรรทุกขาออก H แทนเซตของประตู

ขาคอกทั้งหมดของคลังสินค้า K แทนเซตของรถบรรทุก ขาคอกทั้งหมดกำหนดให้ K_{d0}, K_{dK+1} แทนเซตของรถบรรทุกขาคอกที่ถูกกำหนดให้เป็นรถ Dummy คันแรก และคันสุดท้ายตามลำดับ $[a_i, b_i]$ แทนการกำหนดกรอบเวลา (Time Windows) ของลูกค้าแต่ละราย โดยที่ a_i คือเวลาเริ่มต้นที่ลูกค้าจะรับสินค้า และ b_i คือเวลาสิ้นสุดที่ลูกค้าจะรับสินค้า ซึ่งถ้าส่งสินค้าภายในกรอบเวลานี้จะไม่มีค่าปรับเกิดขึ้น a แทนค่าปรับของการมาถึงก่อนกรอบเวลา (มีหน่วยเป็น บาท / พาเลท / นาฬิกา) β แทนค่าปรับของการมาถึงไม่ทันหรือให้บริการไม่เสร็จทันตามเวลากรอบเวลา (มีหน่วยเป็น บาท / พาเลท / นาฬิกา) γ แทนค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าคงคลัง (มีหน่วยเป็น บาท / พาเลท / นาฬิกา) θ แทนค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า (มีหน่วยเป็น บาท / นาฬิกา) T แทนเวลาในการทำงานทั้งหมด (มีหน่วยเป็นนาฬิกา) รวมทั้งตัวแปรตัดสินใจได้แก่ rt_i แทนเวลาที่สินค้าของลูกค้า i มาถึงประตูคลังสินค้าขาเข้า lp_i แทนเวลาที่สินค้าของลูกค้า i ออกจากคลังสินค้า $v_{i,k}$ แทนการเลือกสินค้าของลูกค้า i ให้ถูกขนโดยรถบรรทุกคันที่ k , $y_{k,h}$ แทนการจับคู่รถบรรทุกให้เข้าประตูคลังสินค้า z_{k1}, z_{k2} แทนการจัดลำดับรถบรรทุกขาคอกที่จะเข้ามารับสินค้าและ e_i แทนระยะเวลาที่ช้ากว่ากรอบเวลา t_i แทนระยะเวลาที่ช้ากว่ากรอบเวลา

โดยที่สมการข้อจำกัดที่พัฒนาต่อยอดมาจากสมการดั้งเดิมของ Agustina และคณะ (2014) จะเริ่มต้นจากสมการที่ 15AT เนื่องจากสมการกลุ่มแรกคือสมการที่ 2AT - 14AT เป็นเรื่องการจัดลำดับและตารางรถขาเข้า (Inbound Vehicle Scheduling) คณะผู้วิจัยไม่ได้นำมาพัฒนาร่วมด้วย

แบบจำลองคณิตศาสตร์ VRP-TDIT สำหรับ

โครสต็อก

$$\text{Minimize } \sum_{i \in N_{cus}} \alpha d_i e_i + \sum_{i \in N_{cus}} \beta d_i t_i + \sum_{i \in N_{cus}} \gamma d_i (lp_i - rt_i) + \sum_{i \in N, j \neq i} \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \theta (t_{i,j}^p x_{i,j,k}^p), \quad (1AT)$$

โดยที่ :

$$t_{i,j}^* = \sum_{p \in P} t_{i,j}^p x_{i,j,k}^p, \quad \forall i, j \in N, \quad k \in K, \quad (10T)$$

$$\frac{dt_{i,k}}{240} - 1 < x_{i,j,k}^2 \leq \frac{dt_{i,k}}{240}, \quad \forall i \in N_{cus}, j \in N, k \in K, \quad (11T)$$

$$\sum_{p \in P} x_{i,j,k}^p \leq 1, \quad \forall i, j \in N, \quad k \in K, \quad (12T)$$

$$x_{i,j,k}^p = 0, \quad \forall i \in N, k \in K, p \in P, \quad (13T)$$

$$ts_{i,k} = dt_{i,k} - at_{i,k} - (PU + PL), \quad \forall i \in N, \quad k \in K, \quad (14T)$$

$$td_{i,j} \geq at_{j,k} - t_{i,j}^* - dt_{i,k}, \quad \forall i \in N, \quad k \in K, \quad (15T)$$

$$1 - \sum_{i \in N} x_{i,j,k}^2 \geq \sum_{w \in N} x_{j,w,k}^1, \quad \forall j \in N, \quad k \in K, \quad (16T)$$

$$x_{i,j,k}^p \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \in N, k \in K, p \in P, \quad (17T)$$

$$td_{i,j}, t_{i,j}^* \in Z_+, \quad \forall i, j \in N, i \neq j, \quad (18.1T)$$

$$ts_{i,k}, at_{i,k}, dt_{i,k} \in Z_+, \quad \forall i \in N_{cus}, k \in K, \quad (18.2T)$$

$$\sigma_{i,k} \in \text{Integer}, \quad \forall i \in N_{cus}, k \in K, \quad (19T)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in N, i \neq j} \sum_{p \in P} x_{i,j,k}^p = 1, \quad \forall j \in N_{cus}, \quad (15AT)$$

$$\sum_{j \in N_{cus}} \sum_{p \in P} x_{0,j,k}^p \leq 1, \quad \forall k \in K, \quad (16AT)$$

$$\sum_{i \in N_{cus}} \sum_{p \in P} x_{i,0,k}^p = 1, \quad \forall k \in K, \quad (17AT)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{p \in P} x_{i,w,k}^p - \sum_{j \in N} \sum_{p \in P} x_{w,j,k}^p = 0, \quad \forall w \in N_{cus}, \quad k \in K, \quad (18AT)$$

$$dt_{i,k} \leq T, \quad \forall i \in N_{cus}, \quad k \in K, \quad (19AT)$$

$$at_{j,k} \geq at_{i,k} + t_{i,j}^* + (PU + PL) - G(1 - x_{i,j,k}^p),$$

$$\forall i, j \in N, i \neq j, \quad k \in K, \quad p \in P \quad (20AT)$$

$$dt_{i,k} - b_i \leq t_i, \quad \forall i \in N_{cus}, \quad k \in K, \quad (21A)$$

$$a_i - at_{i,k} \leq e_i, \quad \forall i \in N_{cus}, \quad k \in K, \quad (22A)$$

$$t_{0j}^p - G(1 - x_{0jk}^p) \leq at_{jk}, \quad \forall j \in N_{cus}, \quad k \in K, \quad p \in P, \quad (7L)$$

$$dt_{i,k} \geq at_{i,k} + (PU + PL), \quad \forall i \in N_{cus}, \quad k \in K, \quad (9T)$$

$$\frac{1}{G} \sum_{i \in N, i \neq j} \sum_{p \in P} x_{i,j,k}^p \leq v_{j,k} \leq \sum_{i \in N, i \neq j} \sum_{p \in P} x_{i,j,k}^p, \quad \forall j \in N_{cus}, \quad k \in K, \quad (23AT)$$

$$\sum_{i \in N_{cus}} d_i v_{i,k} \leq C_k, \quad \forall k \in K, \quad (24A)$$

$$dt_{0,k} \geq rt_i + (PU + PL) - G(1 - v_{i,k}), \quad \forall i \in N_{cus}, \quad k \in K, \quad (25A)$$

$$lp_i \geq dt_{0,k} - G(1 - v_{i,k}), \quad \forall i \in N_{cus}, \quad k \in K, \quad (26A)$$

$$rt_i \leq lp_i, \quad \forall i \in N_{cus}, \quad k \in K, \quad (27A)$$

$$\sum_{h \in H} y_{k,h} = 1, \quad \forall k \in K, \quad (28A)$$

$$z_{k_1,k_2} - 1 \leq y_{k_1,h} - y_{k_2,h} \leq 1 - z_{k_1,k_2}, \quad \forall k_1, k_2 \in K, \quad k_1 \neq k_2, \quad h \in H, \quad (29A)$$

$$dt_{0,k_2} - dt_{0,k_1} + G(3 - z_{k_1,k_2} - y_{k_1,h} - y_{k_2,h}) \geq PL, \quad \forall k_1, k_2 \in K, \quad k_1 \neq k_2, \quad h \in H, \quad (30A)$$

$$\left(\sum_{k_1 \in K} z_{k_1,k_2} + z_{k_{d0},k_2} \right) = 1, \quad \forall k_2 \in K, \quad (31A)$$

$$\left(\sum_{k_2 \in K} z_{k_1,k_2} + z_{k_1,k_{dK+1}} \right) = 1, \quad \forall k_1 \in K, \quad (32A)$$

$$\sum_{k_2 \in K} z_{k_{d0},k_2} = H, \quad (33A)$$

$$\sum_{k_1 \in K} z_{k_1, k_{d_{k+1}}} = H, \quad (34A)$$

$$z_{k_{d_0}, k_1} + z_{k_{d_0}, k_2} + y_{k_1, h} + y_{k_2, h} \leq 3,$$

$$\forall k_1, k_2 \in K \cup \{k_{d_{k+1}}\}, k_1 \neq k_2, h \in H, (35A)$$

$$y_{k, h} \in \{0, 1\}, \quad \forall k \in K, h \in H,$$

$$z_{k_1, k_2} \in \{0, 1\}, \quad \forall k_1 \in K \cup \{k_{d_0}\}, k_2 \in K \cup \{k_{d_{k+1}}\}, k_1 \neq k_2,$$

$$v_{i, k} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in N_{cus}, k \in K,$$

$$rt_i, lp_i, e_i, t_i \in Z_+, \quad \forall i \in N_{cus},$$

$$dt_{0, k} \in Z_+, \quad \forall k \in K.$$

สมการที่ 1AT กำหนดให้เป็นสมการวัตถุประสงค์เพื่อก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนในการดำเนินงานที่ต่ำที่สุด โดยจะแบ่งค่าใช้จ่ายออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

1) ค่าปรับที่เกิดจากการไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละรายก่อนเวลาที่ลูกค้ากำหนด (Earliness Penalty Cost)

2) ค่าปรับที่เกิดจากการไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าไม่ทันเวลาที่กำหนดหรือให้บริการไม่เสร็จทันตามเวลา (Tardiness Penalty Cost)

3) ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้า (Inventory Holding Cost) นับค่าใช้จ่ายจากเวลาที่สินค้าเข้ามาถึงภายในคลังสินค้าจนกระทั่งสินค้านั้นถูกขนออกไปและส่วนสุดท้ายส่วนที่

4) ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า (Transportation Cost) เกิดขึ้นจากการจัดเส้นทางรถขนส่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับเส้นทางและระยะเวลาเดินทางในแต่ละช่วงของวัน ในงานวิจัยนี้จะคิดเฉพาะค่าน้ำมันรถเท่านั้น **สมการที่ 10T – 19T** เป็นสมการของการเลือกช่วงเวลาเดินทางสำหรับช่วงเช้า หรือช่วงบ่าย (TDDT) ซึ่งคำอธิบายสมการจะเหมือนที่อธิบายในแบบจำลอง VRP-TDDT ที่ 2 ทุกประการ

(สมการที่ 15AT – 22AT การจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าหรือกลุ่ม Outbound Vehicle Routing ตามภาพที่ 1)

สมการที่ 15AT กำหนดให้ลูกค้าแต่ละรายจะต้องได้รับบริการ 1 ครั้งเท่านั้น **สมการที่ 16AT-17AT**

กำหนดให้รถบรรทุกขาออกแต่ละคันถ้าหากได้ใช้งานจะต้องเริ่มต้นและกลับมาสิ้นสุดที่คลังสินค้าเสมอ **สมการที่ 18AT** เป็นการกำหนด Node Balance **สมการที่ 19AT** เป็นการกำหนดให้เวลาที่ออกจากลูกค้าแต่ละรายจะต้องไม่เกินเวลาในการทำงานทั้งหมดต่อวัน หมายถึงจะต้องไม่มีการทำงานล่วงเวลา **สมการที่ 20AT** เป็นการกำหนดให้เวลาที่มาถึง node j จะต้องมีความมากกว่าหรือเท่ากับเวลาที่มาถึง node i บวกกับเวลาที่เปลี่ยนค่าขึ้นลงที่ node i และบวกระยะเวลาเดินทางจริงจาก node i ไป node j **สมการที่ 21A** เป็นการหาค่าเวลาที่ไม่สามารถให้บริการได้เสร็จทันเวลาโดยคิดค่าปรับเป็นรายนาทีก (β) **สมการที่ 22A** เป็นการหาค่าเวลาที่มาถึงลูกค้าแต่ละรายก่อนเวลาที่ลูกค้ากำหนด โดยคิดค่าปรับเป็นรายนาทีกเช่นกัน (α) **สมการที่ 7L** กำหนดค่าเวลาที่มาถึงลูกค้าลำดับแรกของรถบรรทุกแต่ละคันจะต้องมีค่าเวลามากกว่าหรือเท่ากับระยะเวลาที่ใช้เดินทางจริงโดยเลือกช่วงเวลาออกเดินทางในช่วงเช้าหรือช่วงบ่าย จากคลังสินค้ามายังลูกค้ารายนั้น **สมการที่ 9T** กำหนดค่าเวลาที่ออกจากลูกค้าแต่ละราย ให้มีค่าเท่ากับเวลาที่มาถึงลูกค้ารายนั้น รวมกับเวลาในการเปลี่ยนค่าขึ้น – ลง

(สมการที่ 23AT – 26A เป็นการจัดการภายในคลังสินค้าหรือกลุ่ม Product Consolidation ตามภาพที่ 1)

สมการที่ 23AT เป็นการเลือกรถบรรทุกคันที่จะไปส่งสินค้าของลูกค้าแต่ละราย รวมถึงการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าด้วย **สมการที่ 24A** กำหนดปริมาณการขนส่งสินค้าของลูกค้าไม่ให้เกิดความจุของรถบรรทุกแต่ละคัน (c_k) **สมการที่ 25A** กำหนดค่าเวลาที่ออกจากคลังสินค้าของรถบรรทุกขาออกแต่ละคัน ($dt_{0, k}$) จะต้องมีความเวลามากกว่าเวลาที่สินค้าของลูกค้านั้นมีมาถึงคลังสินค้า (rt_i) รวมกับเวลาที่ใช้ในการขนย้ายสินค้าขึ้น – ลง จากรถบรรทุก **สมการที่ 26A** กำหนดเวลาที่สินค้าของลูกค้าแต่ละรายออกจากคลังสินค้า (lp_i) จะต้องมี

ค่ามากกว่าหรือเท่ากับเวลาที่รถบรรทุกคันที่ขนส่งสินค้าของลูกค้านั้นออกจากคลังสินค้า

(สมการที่ 27A – 35A การจัดตารางลำดับรถบรรทุกขาออกหรือกลุ่ม Outbound Vehicle Scheduling ตามภาพที่ 1)

สมการที่ 27A เป็นการกำหนดค่าเวลาที่ออกจากคลังสินค้าสำหรับสินค้าของลูกค้าแต่ละราย **สมการที่ 28A** กำหนดให้รถบรรทุกขาออกแต่ละคันสามารถเลือกเข้ามารับสินค้าได้เพียงประตูเดียวเท่านั้น **สมการที่ 29A** เป็นสมการที่ควบคุมการจัดลำดับรถบรรทุกขาออกคันใดๆ ที่มารับสินค้าที่ประตูเดียวกัน และเข้ามาลำดับติดกันจะต้องมีคันใดคันหนึ่งอยู่หน้า และอีกคันจะต้องอยู่หลังเสมอ **สมการที่ 30A** กำหนดให้ถ้ามีการจัดลำดับรถบรรทุกขาออกที่มาถึงประตูก่อน – หลังแล้วรถบรรทุกคันที่มาถึงทีหลังจะต้องมีค่าเวลาที่เข้ามารับสินค้าที่ประตูมากกว่าหรือเท่ากับระยะเวลาที่รถบรรทุกคันก่อนหน้าขนส่งสินค้าขึ้นรถให้เสร็จก่อน จึงจะเข้าไปรับสินค้าต่อได้ **สมการที่ 31A - 32A** เป็นเทคนิคในการจัดลำดับรถบรรทุกขาออก จะต้องมีการสร้างรถ Dummy หรือรถที่ไม่มีอยู่จริง แต่จำเป็นต้องสร้างขึ้นเพื่อให้การเขียนสมการข้อจำกัดเรื่องของการจัดลำดับรถเกิดได้ง่ายขึ้น โดยการสร้างรถ Dummy ลำดับแรก (k_{d_0}) และลำดับสุดท้าย ($k_{d_{k+1}}$) ขึ้นมา **สมการที่ 33A - 34A** กำหนดให้รถ Dummy คันแรกที่สร้างขึ้น (k_{d_0}) ถูกจัดให้เข้าประตูขาออกก่อน และให้รถ Dummy คันสุดท้าย ($k_{d_{k+1}}$) ที่สร้างขึ้นถูกจัดให้เข้าประตูขาออกเป็นคันสุดท้ายเช่นกัน **สมการที่ 35A** ถ้าหากมีรถบรรทุกขาออก 2 คัน ถูกจัดให้อยู่ลำดับถัดจากรถ Dummy คันแรก รถบรรทุก 2 คันนั้นจะต้องเข้ามารับสินค้าคนละประตูเท่านั้น เนื่องจากถ้าไม่บวกรถ Dummy ซึ่งเป็นรถคันที่ไม่มีจริงแล้วนั้นจะถือว่ารถคันที่อยู่ลำดับถัดจากรถ Dummy เป็นรถที่เข้ามาคันแรก

4.3 การทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์ VRP-TDTT ที่ 2 สำหรับครอสต็อก ด้วยปัญหาทดสอบ 15 ปัญหา

ผู้วิจัยจำลองสถานการณ์ของปัญหาออกเป็น 15 ปัญหาที่มีจำนวน node ไม่เท่ากัน คือเริ่มจาก 10 15 และ 20 node ขนาดละ 5 ปัญหา โดยปัญหาตัวอย่างที่จำลองขึ้น ผู้วิจัยได้กำหนดค่าต่างๆ ให้มีความหลากหลายเพื่อใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น โดยค่าระยะเวลาเดินทางระหว่างลูกค้าทั้ง 2 ช่วงเวลา (t_{ij}) เป็นการสุ่มของค่าคงที่ตั้งแต่ 0 ถึง 100 นาที ประตูขาออกของคลังสินค้า (H) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2 ประตูเวลาในการทำงานทั้งหมดต่อวัน (T) กำหนดให้เท่ากับ 480 นาที และเวลาในการยกสินค้าขึ้นลงของลูกค้าแต่ละราย ($PU+PL$) จะกำหนดให้อยู่ในช่วง 20 ถึง 40 นาที โดยที่ PU และ PL ของลูกค้าทุกรายจะมีค่าเท่ากันในปัญหาทดสอบขนาดเดียวกัน แต่ปัญหาทดสอบมี 3 ขนาด จึงใช้เวลาในการยกสินค้าขึ้นลงที่แตกต่างกันเป็น 20 30 และ 40 นาที สำหรับปัญหามาขนาด 15 20 และ 25 node โดยที่มีการกำหนดรอบเวลาของลูกค้าแต่ละราย [a_i, a_i] เป็นค่าคงที่ตั้งแต่ 0 ถึง 999 นาที และปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละราย (d_i) จะกำหนดให้เป็นค่าสุ่มอยู่ในช่วง 0 ถึง 25 พาเลท โดยที่ความจุของรถบรรทุกแต่ละคันจะกำหนดให้มีค่าเท่ากันหมดคือเท่ากับ 25 พาเลท ($C_k = 25$)

ตารางที่ 1 แสดงค่าตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการทดสอบ

ตัวแปร	C_k	a	β	γ	θ	G
ค่า	25	3	9.9	1.2	18	99999
หน่วย	พาเลท	บาท/ พาเลท/ นาที	บาท/ พาเลท/ นาที	บาท/ พาเลท/ นาที	บาท/ นาที	-

เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทดสอบคือรุ่น Intel^(R) Core^(TM) i5-4570 CPU มีความเร็ว 3.20GHz มีหน่วยความจำ 8.00 GB สำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ผู้วิจัยใช้ในการ

หาคำตอบของวิธี Linear Integer Programming คือ โปรแกรม Lingo ซึ่งใช้วิธี Branch and Bound ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งที่คำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการเดินทางในแต่ละช่วงเวลาสำหรับคลังสินค้าครอสดีคด้วยการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์และทดสอบบน Lingo นั้นสามารถหาคำตอบได้ดังตารางที่ 2 ซึ่งวิธี Branch and Bound คือ การแตกกิ่งและการตัดคำตอบ โดยเริ่มต้นจากปัญหาที่มีขนาดใหญ่และแบ่งเป็นปัญหาย่อยๆ จากนั้นจึงพิจารณาขอบเขตที่น้อยที่สุดเนื่องจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์นี้เป็นการหาต้นทุนที่ต่ำที่สุด (Lower Bound) ของคำตอบสำหรับปัญหาย่อย และพิจารณาตัดปัญหาที่ไม่สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุดในขณะนั้นได้ และทำซ้ำกับทุกปัญหาย่อยๆ จนกระทั่งพบปัญหาย่อยที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งวิธีนี้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในเวลาอันรวดเร็ว จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ 2 โดยผู้วิจัยได้ทดลอง

รันโปรแกรม และหยุดรันที่ 60 นาที ทำให้คำตอบที่ได้มี 3 รูปแบบ คือ Global, Feasible และ No feasible ซึ่งการทดลองรันโปรแกรมสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ (Global Optimum Solution) ในปัญหขนาดเล็กรั้ง 5 ปัญหา และปัญหขนาดกลาง 2 ปัญหาเท่านั้น คือ N15-2 และ N15-3 ซึ่งใช้เวลาในการประมวลหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ภายในเวลาไม่เกิน 60 นาที และในปัญหขนาดกลางอีก 3 ปัญหาที่เหลือสามารถหาคำตอบที่เป็น Feasible Solution ได้ภายในเวลาไม่เกิน 60 นาที เช่นกัน ส่วนปัญหขนาด 20 node มีเพียง 3 ปัญหาเท่านั้นที่สามารถหาคำตอบที่เป็น Feasible Solution ได้ภายในเวลาไม่เกิน 60 นาที และปัญหขนาด 20 node ที่เหลืออีก 2 ปัญหานั้นไม่สามารถหาคำตอบที่เป็น Feasible Solution ได้ภายในเวลา 60 นาที โดยมีการใช้จำนวนรอบบรรทุกของปัญหาทั้ง 3 ขนาดดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบทั้ง 15 ปัญหา

ปัญหา	จำนวนลูกค้า (คน)	จำนวนรถบรรทุกที่ใช้ (คัน)	เวลาในการหาคำตอบ (นาที)	คำตอบของวัตถุประสงค์ (ค่า Z) (บาท)	ค่าต่ำสุดของคำตอบ (Lower Bound; LB)	% Gap ระหว่าง LB และ Z
N10-1	9	3	51.38	Global Optimum = 3409.2	3409.2	0.0
N10-2	9	3	14.53	Global Optimum = 3,445.2	3,445.2	0.0
N10-3	9	3	11.59	Global Optimum = 3,254.4	3,254.4	0.0
N10-4	9	3	24.50	Global Optimum = 4,519.2	4,519.2	0.0
N10-5	9	3	13.13	Global Optimum = 3,555.0	3,555.0	0.0
N15-1	14	3	68.00	Feasible Solution = 5,684.4	4,807.4	15.4
N15-2	14	3	48.58	Global Optimum = 4,428.0	4,428.0	0.0
N15-3	14	3	41.38	Global Optimum = 4,777.2	4,777.2	0.0
N15-4	14	3	60.01	Feasible Solution = 20,129.4	10,069.9	49.9
N15-5	14	4	60.07	Feasible Solution = 7,121.4	4,710.1	33.8
N20-1	19	4	63.81	No Feasible Solution	-	-
N20-2	19	4	60.00	Feasible Solution = 4,952.4	2,514.5	49.2
N20-3	19	4	61.22	No Feasible Solution	-	-
N20-4	19	4	65.03	Feasible Solution = 4,374.0	2,940.4	32.7
N20-5	19	5	60.01	Feasible Solution = 10,197.3	3,441.1	66.2

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การบริหารจัดการสินค้าประเภทอาหารที่เน่าเสีย ย่างนั้นมีความยาก และท้าทายความสามารถมากกว่า สินค้าประเภทอื่น เนื่องจากคุณภาพของสินค้าที่มีอายุ การเก็บรักษาที่สั้นนั้นจะเสื่อมลงตามกาลเวลา ซึ่งเสีย ไประหว่างที่สินค้าอยู่ในห่วงโซ่อุปทาน และการจัดการ คลังสินค้าหรือสต็อกที่ตื้นนั้นสามารถลดปริมาณสินค้า คงคลังหรือลดระยะเวลาที่สินค้าอยู่ในห่วงโซ่อุปทานได้ ซึ่งการใช้เวลาให้น้อยที่สุดนั้นถือเป็นหัวใจสำคัญของ อุตสาหกรรมอาหาร ดังนั้นผู้วิจัยจึงพัฒนาแบบจำลอง คณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า ที่คำนึงถึงช่วงเวลาเดินทางที่แปรเปลี่ยนไปตามช่วงของ วัน (VRP-TDPT) สำหรับอาหารที่เน่าเสียได้ง่ายมา ประยุกต์กับการทำงานของคลังสินค้าหรือสต็อกภายใต้ ค่าใช้จ่ายการดำเนินงานที่ต่ำที่สุด โดยพิจารณาค่าใช้จ่าย ในส่วนของการขนส่ง การจัดเก็บสินค้าคงคลัง และ ค่าปรับของการไปส่งสินค้าก่อนเวลา หรือให้บริการ ไม่เสร็จทันตามเวลา โดยแก้ปัญหาด้วยวิธีกำหนดการ เชิงเส้น แล้วนำแบบจำลองที่พัฒนาได้ไปทดสอบด้วย โปรแกรม Lingo ซึ่งใช้วิธี Branch and Bound ในการแก้ปัญหาภายใต้การจำลองสถานการณ์ของปัญหา ตัวอย่างจำนวน 15 ปัญหา พบว่าสามารถหาคำตอบที่ดี ที่สุดภายในเวลาที่ผู้วิจัยกำหนด คือ 60 นาที ได้เฉพาะ ปัญหาขนาดเล็กทั้ง 5 ปัญหา และปัญหาขนาดกลาง เพียง 2 ปัญหาเท่านั้น

ข้อเสนอแนะแนวทางการดำเนินงานวิจัยในอนาคต การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ในการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าที่คำนึงถึงเวลาในการเดินทาง (VRPTW with time dependent travel-time: VRP-TDPT) ของงานวิจัยนี้ยังเป็นเพียงการเริ่มต้นพัฒนาให้มีแค่ 2 ช่วงเวลาเดินทาง คือ ช่วงเช้า และช่วงบ่าย ดังนั้นในการใช้งานที่สอดคล้องกับความเป็นจริงจึงควรมีการเพิ่ม ช่วงเวลาในการเดินทางให้มากขึ้น อาจจะมีการเพิ่มเป็น 4 หรือ 8 ช่วงเวลาในหนึ่งวันเดินทางแทน เพื่อความ เหมาะสมกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง เพราะในความเป็นจริงแต่ละชั่วโมงของการเดินทางก็มีการใช้ระยะเวลาในการเดินทางที่แตกต่างกันออกไปด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Agustina D., Lee C.K.M. and Piplani R., 2014. Vehicle scheduling and routing at a cross docking center for food supply chains. Journal of Science Direct, Vol. 152, pp. 29-41.
- [2] Yu W. and Egbelu P.J., 2008. "Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage", European Journal of Operational Research, pp. 377-396.
- [3] Osvald A. and Strin L.Z., 2008. A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food. Journal of Food Engineering, Vol. 85, pp. 285-295.
- [4] นลินี อุดมสมบัติมีชัย. 2548. การประยุกต์วิธี ศึกษาสำนึกสำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมี กรอบเวลา. คณะวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- [5] Toth P. and Vigo D., 2002. "An overview of vehicle routing problem", The Vehicle Routing Problem, pp. 1-23.
- [6] Malandraki C. and Daskin M.S., 1992. Time dependent vehicle routing problems: Formulations, properties and heuristic algorithm. Transportation Science, Vol. 26(3), pp. 185-199.
- [7] เกรียงศักดิ์ วณิชชากรพงศ์ และคณะ. 2556. Siamtraffic 3.0 บริการค้นหาเส้นทางที่ใช้ระยะเวลา ในการเดินทางน้อยที่สุดและประยุกต์ใช้กับโครงข่าย ถนนในกรุงเทพมหานคร. คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัย บูรพา ชลบุรี.
- [8] ฤทัย ลำประเสริฐ และสรวิชัย เยาวสุวรรณ ไชย. 2558. การจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าที่คำนึง ถึงระยะเวลาเดินทางที่แปรเปลี่ยนไปตามช่วงเวลาของ วัน. เอกสารการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการประจำปี 2558 ด้านการจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทาน ครั้งที่ 15 มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง เชียงราย.
- [9] Miller C., Tucker A. and Zemlin R., 1960. Integer programming formulation of traveling salesman problems. Journal of the ACM, Vol. 7(4), pp. 326-329.