

ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งภายใต้ความไม่แน่นอนของอุปสงค์

Vehicle Routing Problem with Stochastic Demand

เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ กองการศึกษา

โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

E-mail: kiatkulchai@yahoo.com

บทคัดย่อ

ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งเป็นปัญหาที่ศึกษากันในสาขาการวิจัยดำเนินงานและการขนส่งและโลจิสติกส์ โดยปัญหานี้ถือว่าเป็นปัญหาที่ยากและท้าทายสำหรับนักวิจัยและผู้ปฏิบัติงานที่ทำงานอยู่ในสาขาดังกล่าว ลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง คือการที่ผู้ขนส่งต้องออกแบบเส้นทางรถส่งสินค้าให้กลุ่มผู้รับบริการเพื่อให้เกิดต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุด บทความนี้อธิบายเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบดั้งเดิมพร้อมทั้งปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งที่มีความยากซับซ้อนมากขึ้นเมื่อผู้ขนส่งไม่ทราบอุปสงค์ที่แน่นอนของผู้รับบริการ และบทความนี้ยังได้จำแนกชนิดของแบบจำลองปัญหาพร้อมทั้งนำเสนอประเภทของวิธีแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

คำสำคัญ: ปัญหาเส้นทางรถขนส่ง, โลจิสติกส์, ความไม่แน่นอนของอุปสงค์, อัลกอริธึม

Abstract

Vehicle routing problem (VRP) is a combinatorial optimization problem and always is classified as an NP-hard problem that is difficult to be solved. The VRP is one of the most widely studied topics in the fields of Operations Research (OR) and logistics, and has received the greatest attention in the scientific literatures. The VRP is extensively studied because of its wide applicability and its importance in determining efficient strategies for reducing operational costs in distribution networks. This article aims to provide a basic knowledge of deterministic VRP and stochastic VRP with uncertain demand. Also, the stochastic models and its solution methods are reviewed and categorized in accordance to the relevant literature.

Keywords: vehicle routing problem, logistics, stochastic demand, heuristics

1. บทนำ

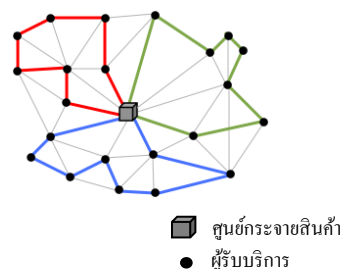
ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง (Vehicle Routing problem : VRP) เป็นปัญหาที่ศึกษากันในสาขาการวิจัยดำเนินงานและการขนส่งและโลจิสติกส์ ลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งคือการที่ผู้ขนส่งต้องออกแบบเส้นทางรถขนส่งสินค้าให้ผู้รับบริการ โดยปัญหาที่ท้าทาย คือหากจำนวนผู้รับบริการมีจำนวนมาก ผู้ขนส่งจะต้องคำนวณหาคำตอบ จำนวนการใช้พาหนะขนส่ง และการจัดลำดับการส่งสินค้า กระบวนการจัดพาหนะ วิธีการส่งสินค้าให้แก่ผู้รับบริการ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้เกิดต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุด และสามารถให้บริการครบตามปริมาณอุปสงค์ทั้งหมดภายใต้ข้อจำกัดบางประการ

บทความนี้มีจุดมุ่งหมายนำเสนอความรู้พื้นฐานของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง และปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งภายใต้ความไม่แน่นอนของอุปสงค์ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน พร้อมทั้งจำแนกชนิดของแบบจำลองปัญหาและวิธีในการหาคำตอบที่ได้พบจากการทบทวนวรรณกรรม

2. เนื้อความ

ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งถูกพัฒนามาจากปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขาย (Travel Salesman Problem) โดยปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งถูกศึกษาอย่างเป็นทางการครั้งแรกในงานวิจัยของ G. B. Dantzig และ J.H.Ramser [1] โดยลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งเริ่มแรกนั้นจะระบุข้อจำกัดด้านปริมาณความจุของพาหนะส่งสินค้า โดยเรียกปัญหานี้ว่า Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) ซึ่งสามารถอธิบายลักษณะของปัญหาได้เบื้องต้นคือ จำนวนผู้รับบริการทุกรายจะต้องได้รับการบริการส่งสินค้าโดยพาหนะจากศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งดังภาพตัวอย่าง โดยพาหนะทั้งหมดต้องมีขนาดความจุสินค้าเท่ากัน (Homogeneous Vehicles) โดยอุปสงค์ของผู้รับบริการแต่ละรายมีปริมาณที่แตกต่างกันไป ที่สำคัญขนาดความจุสินค้าของพาหนะมีขีดจำกัด และ

พาหนะไม่สามารถแบ่งส่งสินค้า (Split Delivery) ให้แก่ผู้รับบริการหนึ่ง ๆ ได้ (ในกรณีที่สินค้าคงเหลือในรถไม่พอกับความต้องการ) ดังนั้นการแก้ปัญหการจัดเส้นทางรถขนส่ง คือการออกแบบเส้นทางเพื่อตอบสนองอุปสงค์แก่ผู้รับบริการได้ทั้งหมด โดยให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุดบนข้อจำกัดที่สำคัญ คืออุปสงค์ของผู้บริการทั้งหมดบนเส้นทางหนึ่ง ๆ จะต้องไม่เกินขนาดความจุสินค้าของพาหนะ โดยต้นทุนต่ำที่สุดที่เกิดขึ้น หมายถึงการให้เกิดค่าใช้จ่ายการขนส่งต่ำที่สุด ซึ่งรวมถึงการใช้จำนวนพาหนะให้น้อยที่สุด การใช้เชื้อเพลิงให้น้อยที่สุด หรือการเดินทางโดยใช้ระยะทางขนส่งให้น้อยที่สุด หรือการใช้เวลาการเดินทางในการขนส่งให้น้อยที่สุด



ภาพตัวอย่างปัญหาเส้นทางรถขนส่ง

การอธิบายปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งในเชิงคณิตศาสตร์นั้น สามารถกำหนดปัญหาการจัดเส้นทางในรูปแบบของกราฟ $G = (V, A)$ ซึ่งมีเซตของ $V = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ เป็นเซตที่ประกอบไปด้วยสมาชิกของจุดต่าง ๆ บนเส้นทางรถขนส่ง ซึ่งจุด 0 แทนศูนย์กระจายสินค้า ส่วนที่เหลือ $N = V - \{0\}$ หมายถึงกลุ่มของผู้รับบริการจำนวนทั้งหมด n ราย และ $A = \{(i, j) : i, j \in V\}$ เป็นเซตของเส้นทางระหว่างผู้รับบริการ i กับผู้รับบริการ j โดยที่มีสัมประสิทธิ์ c_{ij} เป็นตัวแปรแทนต้นทุนของการที่พาหนะเดินทางจากผู้รับบริการ i ไปยังผู้รับบริการ j ซึ่งอาจหมายถึงระยะทางหรือเวลาที่ใช้เดินทาง โดยจุดมุ่งหมายในการแก้ปัญหาคือการออกแบบเส้นทางที่ใช้ต้นทุนต่ำสุดในการใช้พาหนะขนาดเดียวกันจำนวน $K = \{1, 2, \dots, m\}$ ที่มีความจุบรรทุกทุกสินค้าปริมาณจำกัด โดยใช้ Q แทน

ปริมาณความจุสินค้าของพาหนะแต่ละคัน โดยที่แต่ละรอบในการส่งสินค้านั้น อุปสงค์ของผู้รับบริการ i ให้เป็น q_i โดยในเส้นทางที่ออกแบบนั้น ความต้องการสินค้าของผู้รับบริการทั้งหมดในเส้นทางนั้นจะต้องไม่เกินค่า Q และพาหนะส่งสินค้าจะต้องออกเดินทางและกลับมายังศูนย์กระจายสินค้าเดียวกันเท่านั้น โดย L.Bodin และคณะ [2] ได้กำหนดแบบจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์ของ CVRP ไว้ดังนี้

$$\min \sum_{k \in V} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ij}^k \quad (1)$$

โดยที่

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V} x_{ij}^k = 1, \quad \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in V} x_{ij}^k = 1, \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V} x_{it}^k - \sum_{j \in V} x_{tj}^k = 0, \quad k \in K, t \in N \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N} q_j \left(\sum_{i \in N} x_{ij}^k \right) \leq Q, \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j \in V \quad (6)$$

ในปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบบดั้งเดิมนั้นผู้ส่งสินค้าทราบปริมาณอุปสงค์ของผู้รับบริการ แต่ละรายล่วงหน้าก่อนทำการส่งสินค้า ปัญหาลักษณะนี้เรียกว่า ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งเชิงกำหนด (Deterministic VRP) อย่างไรก็ตาม A. Ak และ AL.Erera [3] กล่าวว่า ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งเชิงกำหนดนั้นไม่สามารถตอบรับปัญหาในสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงได้ เพราะการปฏิบัติผู้ส่งสินค้ามักเผชิญหน้ากับปัญหาความไม่แน่นอนในการส่งสินค้าให้แก่ผู้รับบริการ ตัวอย่างเช่น ความไม่แน่นอนของอุปสงค์ของผู้รับบริการในแต่ละราย ซึ่งปัญหานี้ถูกเรียกว่า VRP with Stochastic Demand (VRPSD) โดย G.Laporte, M.Gendreau และคณะ [4][5] กล่าวว่าปัญหาที่

มีปัจจัยความไม่แน่นอนของอุปสงค์เกิดขึ้นนั้น ยังทำให้การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้นกว่าการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งเชิงกำหนด แต่อย่างไรก็ตาม SVRP (Stochastic Vehicle Routing Problem) ยังคงมีเป้าหมายเดียวกับ CVRP เพียงแต่มีปัจจัยเรื่องความไม่แน่นอนของอุปสงค์เข้ามาเพิ่ม โดย M.Reimann [6] กล่าวว่าปัจจัยความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นในปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งนั้นอาจเกิดจากสาเหตุอื่น ๆ เช่น ความไม่แน่นอนของจำนวนผู้รับบริการ (Stochastic Customer) และความไม่แน่นอนของเวลาในการเดินทางและเวลาการให้บริการ (Stochastic Travel and Service Times) นอกจากนี้ E. Berhan และคณะ [7] พบว่าในปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบบมีปัจจัยที่ไม่แน่นอนนั้น การศึกษาวิจัยปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งภายใต้ความไม่แน่นอนของอุปสงค์มีปริมาณมากที่สุด [8][9][10][11][12][13][14][15] ส่วนปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งภายใต้ความไม่แน่นอนด้านจำนวนผู้รับบริการ และเวลาในการเดินทางและเวลาการให้บริการได้รับการศึกษาวิจัยมีปริมาณลดหลั่นกันมา [4][16][17][18][19][20]

ในการแก้ปัญหา VRPSD จะต้องมีการสร้างแบบจำลองปัญหาขึ้นมาก่อนเสมอ โดยแบบจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์นั้นจะต้องมีการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ส่วนสมการข้อจำกัด จะต้องพิจารณาอุปสงค์สินค้า q_i ของผู้รับบริการ i เป็นตัวแปรแบบสุ่ม (Random Variables) ที่มีการกระจายความน่าจะเป็น $P_{i,s}$ เช่น ความน่าจะเป็นที่ผู้รับบริการ i ต้องการปริมาณสินค้า $q_i = Y$ โดยที่ $Y = \{0, 1, 2, \dots, z\}$ โดยผู้ส่งสินค้าจะทราบอุปสงค์ของผู้รับบริการก็ต่อเมื่อพาหนะได้เดินทางไปถึงหน่วยผู้รับบริการแล้วเท่านั้น จึงมีความเป็นไปได้ว่าเมื่อพาหนะเดินทางไปตามเส้นทางที่วางแผนไว้ เหตุการณ์ที่ปริมาณสินค้าที่เหลืออยู่ในพาหนะไม่เพียงพอกับอุปสงค์ของผู้รับบริการอาจเกิดขึ้นได้ และหากเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ผู้ขนส่งจึงไม่สามารถส่งสินค้าแก่ผู้รับบริการได้ และไม่สามารถเดินทางไปส่งสินค้าให้แก่ผู้รับบริการอื่น ๆ ได้

ตามแผน ซึ่งเหตุการณ์เช่นนี้ต่อไปจะใช้คำว่า Route Failure คือเกิดความผิดพลาด พาหนะไม่สามารถดำเนินการส่งสินค้าให้กับผู้รับบริการอื่น ๆ ตามแผนที่วางไว้ได้

การสร้างแบบจำลองปัญหา VRPSD นั้น M.Gendreau และคณะ [5] แบ่งวิธีการไว้ 2 วิธี คือ การจำลองปัญหาแบบ Chance-Constrained Programme (CCP) และ Stochastic Programme with Recourses (SPR) โดยที่การจำลองปัญหาแบบ CCP นั้น ทรงยศ กิจธรรมเกษร และคณะ[21] อธิบายไว้ว่า ผู้ขนส่งเป็นผู้กำหนดระดับความเสี่ยง (α) ที่จะยอมรับ Route Failure ที่เกิดขึ้นตามการแจกแจงของความน่าจะเป็นชนิดใดชนิดหนึ่ง โดยสามารถดัดแปลงจากสมการข้อจำกัดที่ (5) ในแบบจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์ของ CVRP ได้ดังนี้

$$P\left\{\sum_{j \in N} q_j \left(\sum_{i \in N} x_{ij}^k\right) \leq Q\right\} \geq 1 - \alpha, \quad \forall k \in K$$

จาก ทรงยศ กิจธรรมเกษร และ K. C. Tan และคณะ [5][22] พบว่า การจำลองปัญหาแบบ CCP จะไม่มีการพิจารณาหนทางแก้ไขหากมี Route Failure เกิดขึ้น ซึ่งแตกต่างจากการจำลองปัญหาแบบ SPR ที่จะต้องมีนโยบายในกรณีที่เกิด Route Failure และจะต้องคิดต้นทุนที่ใช้ในการแก้ไขสถานการณ์เมื่อเกิด Route Failure นั้น นโยบายหรือหนทางดังกล่าวถูกเรียกว่า Recourse Policies โดยตัวอย่างนโยบายการแก้ปัญหาที่ง่ายที่สุดเมื่อปริมาณสินค้าในพาหนะไม่เพียงพอต่ออุปสงค์ของผู้รับบริการบนเส้นทางก็คือ พาหนะต้องวิ่งกลับมาเติมสินค้าที่ศูนย์กระจายสินค้าและวิ่งกลับไปส่งสินค้ากับผู้รับบริการนั้น และวิ่งต่อไปส่งสินค้ายังผู้รับบริการอื่น ๆ ตามเส้นทางที่วางแผนไว้ ซึ่งจะต้องมีต้นทุนที่เพิ่มขึ้น โดยการแก้ปัญหาวิธีนี้อาจไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุด ดังนั้นการแก้ปัญหาหากปริมาณสินค้าในพาหนะไม่เพียงพอกับอุปสงค์ของผู้รับบริการและทำให้เกิด Route Failure ผู้ส่งสินค้าสามารถกำหนด

นโยบายหรือกลยุทธ์อื่น ๆ เพื่อก่อให้เกิดต้นทุนที่ต่ำที่สุดในการส่งสินค้า ดังนั้น M.Gendreau และคณะ [5] กล่าวว่า การแก้แบบจำลองปัญหาแบบ SPR จึงยากกว่าการแก้แบบจำลองปัญหาแบบ CCP

วิธีการแก้ปัญหาแบบจำลองปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งภายใต้อุปสงค์ที่ไม่แน่นอนนั้นก็ขึ้นอยู่กับประเภทของแบบจำลองปัญหาทั้ง 2 แบบดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ไพโรจน์ แสนดี และคณะ[23] ได้แบ่งวิธีการแก้ปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งไว้ 2 ประเภท ได้แก่ 1) วิธีแม่นยำตรง (Exact Method) หรือวิธีการหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เป็นวิธีการหาคำตอบที่อาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ คำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด และ 2) วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics) เป็นวิธีการหาคำตอบที่อาศัยการกำหนดกฎเกณฑ์บางประการขึ้นมา แต่คำตอบที่ได้อาจจะไม่รับประกันว่าเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด เป็นเพียงคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเท่านั้น ข้อดีของวิธีนี้คือใช้เวลาในการแก้ปัญหาเร็วกว่าแบบวิธีแม่นยำตรง โดยจากการทบทวนวรรณกรรมในวิธีการแก้แบบจำลองปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งทั้งแบบเชิงกำหนดและแบบภายใต้อุปสงค์ที่ไม่แน่นอนนั้น ตัวแปรที่สำคัญในการตัดสินใจที่จะใช้วิธีแม่นยำตรงหรือวิธีฮิวริสติกส์ คือ จำนวนผู้รับบริการและความซับซ้อนของปัญหา โดยทั่วไปวิธีแม่นยำตรงจะนิยมนำมาใช้แก้ปัญหาหากจำนวนผู้รับบริการไม่มากและความซับซ้อนของปัญหามีน้อย และวิธีฮิวริสติกส์จะใช้กับปัญหาที่มีผู้รับบริการจำนวนมาก ๆ หรือปัญหาที่มีโครงสร้างความซับซ้อนสูง

อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันงานวิจัยจำนวนมากได้นำวิธีแก้ปัญหาแบบจำลองปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งแบบใหม่ เรียกว่า เมตาฮิวริสติกส์ (Meta-Heuristic Method) มาใช้แก้แบบจำลองปัญหาที่มีความซับซ้อนได้รวดเร็วกว่าและอาจได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีฮิวริสติกส์ด้วย โดยพบว่าวิธีเมตาฮิวริสติกส์เป็นที่นิยมสำหรับนักวิจัยในการใช้แก้แบบจำลองปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งภายใต้อุปสงค์ที่ไม่แน่นอน เพื่อให้ได้คำตอบที่ยอมรับได้ในเวลา

ที่รวดเร็ว โดยมีหลักฐานจากงานวิจัยเชิงสำรวจของ Braekers และคณะ [24] แสดงว่า วิธีการแก้ปัญหาแบบเมตาฮิวริสติกส์ถูกนำมาใช้แก้แบบจำลองปัญหาจัดเส้นทางขนส่งจำนวนมากที่สุดถึง 233 ปัญหา รองลงมาคือวิธีแม่นยำและวิธีฮิวริสติกส์จำนวน 56 และ 32 ปัญหา ตามลำดับ (ข้อมูลที่ศึกษาจาก ค.ศ. 2009 ถึง 2015)

3. บทสรุป

ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการลดต้นทุนการขนส่งและโลจิสติกส์ซึ่งเป็นหนึ่งในต้นทุนที่สำคัญของตัวสินค้าและบริการ ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งนั้นค่อนข้างยากและซับซ้อนเนื่องจากมีปัจจัยความไม่แน่นอนต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ในขณะเดินทางขนส่ง โดยเฉพาะเมื่อเครือข่ายการขนส่งมีขนาดใหญ่มาก ๆ ตัวอย่างที่ได้นำเสนอคือปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งภายใต้ความไม่แน่นอนของอุปสงค์ ซึ่งเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจอย่างมากในห่วงโซ่อุปทาน ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากมุ่งเน้นศึกษาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวในห่วงโซ่อุปทานของการผลิต โดยได้จำลองปัญหาที่เกิดขึ้นจริงให้เป็นแบบจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์ อย่างไรก็ตามเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมาก วิธีการแก้ปัญหาในยุคปัจจุบันไม่สามารถรับประกันคำตอบที่ดีที่สุดได้ ดังนั้น ศักยภาพของเครื่องมือในการแก้ปัญหาดังกล่าวยังคงต้องได้รับการปรับปรุงต่อไปในอนาคต

นอกจากนี้ งานวิจัยปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งในอนาคตควรเน้นไปศึกษาปัจจัยความไม่แน่นอนอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในการขนส่งและโลจิสติกส์ เช่น ความไม่แน่นอนของจำนวนผู้รับบริการ หรือความไม่แน่นอนของเวลาการเดินทางและเวลาในการให้บริการ นอกจากนี้ งานวิจัยปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งในปัจจุบันจะเน้นการแก้ปัญหาในห่วงโซ่อุปทานของการผลิตและการค้า ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตควรขยายไปศึกษาแก้ปัญหาในห่วงโซ่อุปทานของการบริการหรือในกลุ่มองค์กรที่ไม่ได้

แสวงหากำไร เช่น หน่วยงานราชการ หรือประยุกต์ใช้องค์ความรู้ที่ได้มีการศึกษามาแล้วนำไปใช้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อสังคม เช่น ปัญหาการจัดเส้นทางรับ-ส่งผู้ประสบภัยในสถานการณ์ภัยพิบัติ เป็นต้น

4. เอกสารอ้างอิง

- [1] G. B. Dantzig and J.H.Ramser. The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1):80-91, 1959.
- [2] L.Bodin et al. Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art. *Computers & Operations Research*, 10(2): 69-211, 1983.
- [3] A.Ak and AL. Erera. A paired-vehicle recurs strategy for the vehicle routing problem with stochastic demands. *Transportation Science*, 41(2): 222-237, 2007.
- [4] G.Laporte et al. The vehicle routing problem with stochastic travel times. *Transportation Science*, 26(3): 161-170, 1992.
- [5] M.Gendreau et al. Stochastic vehicle routing. *European Journal of Operational Research*, 88: 3-12, 1996.
- [6] M.Reimann. Analyzing a vehicle routing problem with stochastic demand using ant colony optimization. *Advanced OR and AI methods in Transportation*. Poznan Technical University, Poznan: 764-769,2005.
- [7] E. Berhan et al. Stochastic vehicle routing problem: a literature survey. *Journal of Information & Knowledge Management*: 1-12, 2014.
- [8] M.Dror and T.Trudeau. Savings by split delivery routing. *Transportation Science*, 23: 141-145, 1989.

- [9] G.Laporte et al. Models and exact solutions for a class of stochastic location routing problems. *European Journal of Operational Research*, 39: 71-78, 1989.
- [10] D.Bertsimas. A vehicle routing problem with stochastic demand. *Journal of Operations Research*, 40(3): 554-585, 1991.
- [11] P.Yong and Z.Hai-Ying. Research on vehicle routing problem with stochastic demand and PSO-DP algorithm with inver-over operator. *SETP*, 28(10): 76-81, 2008.
- [12] W-H.Yang et al., Stochastic vehicle routing problem with restocking. *Transportation Science*, 34: 99-112, 2000.
- [13] L.Smith et al. Dynamic vehicle routing with priority classes of stochastic demands. *IAM Journal on Control and Optimization*, 48(5): 3224-3245, 2010.
- [14] N.Secomandi and F.Margot. Reoptimization approaches for the vehicle routing problem with stochastic demands. *Journals of Operations Research*, 57(1): 214-230, 2009.
- [15] F.B.Moghaddam et al. Vehicle routing problem with uncertain demands: An advanced particle swarm algorithm. *Computer and Industrial Engineering*, 196: 306-317, 2012.
- [16] M.Gendreau et al. An exact algorithm for the vehicle routing problem with stochastic demands and customers. *Transportation Science*, 29: 143-155, 1995.
- [17] S.A.Kenyon and P.D.Morton. Stochastic vehicle routing with random travel times. *Journal of Transportation Science*, 37(1): 69-82, 2003.
- [18] Z.Guo. A heuristic algorithm for the stochastic vehicle routing problems with soft time windows. In *Evolutionary Computation*, Hong Kong University: 1449-1456, 2004.
- [19] C.Cortes et al. Routing technicians under stochastic service times: A robust optimization approach. On the Sixth Triennial Symposium on Transportation Analysis, Phuket Island, 2007.
- [20] M.A. Campbell and M.Gendreau. The orienteering problem with stochastic travel and service time. *Annals of Operations Research*, 186: 61-81, 2011.
- [21] ทรงยศ กิจธรรมเกษร และคณะ. **การจัดสรรงานของผู้ให้บริการโลจิสติกส์ด้วยต้นทุนต่ำภายใต้ความไม่แน่นอน**. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์ธุรกิจปริทัศน์, 2557.
- [22] K.C.Tan et al. Solving multi-objective vehicle routing problem with stochastic demand via evolutionary computation. *European Journal of Operational Research*, 177 (2): 813-839, 2007.
- [23] ไพโรจน์ แสนดี และคณะ. **การศึกษาเส้นทางเดินรถในการเคลื่อนย้ายผู้ประสบอุทกภัยออกจากพื้นที่อันตรายเมื่อระดับน้ำสูง กรณีศึกษา: ตำบลลาดสวาย อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี**. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา, 2557.
- [24] Braekers et al. The vehicle routing problem: state of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, 99: 300-313, 2016.