

**การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้า:
กรณีศึกษา บริษัท ไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชัน จำกัด**

วัลย์ลักษณ์ อัครีวงศ์^{1*} และ สิวินัย ปงลังกา²

Received: 24 March 2020; Revised: 8 May 2020; Accepted: 13 May 2020

บทคัดย่อ

ตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้านับเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อต้นทุนการขนส่ง การตั้งคลังสินค้าหรือศูนย์กระจายสินค้าใกล้กับแหล่งลูกค้าปลายทางจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าให้มีความสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น แต่อาจส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งโดยรวมเพิ่มสูงขึ้นหากมีศูนย์กระจายสินค้ามากเกินไป ปัจจุบันบริษัท ไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชัน จำกัด เป็นผู้ให้บริการบุคคลที่ 3 ทำหน้าที่รับผิดชอบในการขนส่งสินค้ากลุ่มยาและเวชภัณฑ์ไปยังลูกค้าปลายทางซึ่งกระจายอยู่ในจังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศ โดยมีคลังสินค้า 1 แห่งตั้งอยู่ที่จังหวัดสมุทรปราการและศูนย์กระจายสินค้าอีก 9 แห่งกระจายอยู่ในภูมิภาคต่างๆ ในอดีตที่ผ่านมาบริษัทยังไม่เคยวิเคราะห์เกี่ยวกับตำแหน่งที่ตั้งของคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้ารวมทั้งจำนวนที่เหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมให้กับทางบริษัทในการที่จะขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าปลายทางเพื่อให้ต้นทุนการขนส่งโดยรวมมีค่าต่ำที่สุด โดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม LINGO พบว่าบริษัทควรมีคลังสินค้า 1 แห่งที่จังหวัดสมุทรปราการและมีศูนย์กระจายสินค้าทั้งหมด 12 แห่ง ซึ่งจะทำให้สามารถลดต้นทุนการขนส่งสินค้าลงได้ 1,343,170 บาทต่อเดือนหรือคิดเป็นร้อยละ 6.1

คำสำคัญ: ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง, คลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้า, ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

*Corresponding e-mail: walailaknoi@gmail.com

^{1,2}ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Location Selection of Warehouse and Distribution Centers: A Case Study of Thailand Post Distribution Co., Ltd.

Walailak Atthirawong^{1*} and Siwanee Ponglangka²

Received: 24 March 2020; Revised: 8 May 2020; Accepted: 13 May 2020

Abstract

Location of warehouse and distribution center is a major factor affecting transportation cost. Locating warehouse or distribution center proximity to final customers will help in efficient flow to transport products to customers more convenient and faster. However, it might affect total transportation cost if there are too many distribution centers. Currently, Thailand Post Distribution Co. Ltd., a third party company, is responsibility to send drugs and medical supplies to final customers which situated in various provinces around the country. The company has one warehouse locating in Samut Prakan province and nine distribution centers locating in several regions. In the past, the company does not have any investigation about where to locate a warehouse location and distribution centers and the number of optimal number of those facilities. As a result, the objective of this research is to find suitable locations of a warehouse and distribution centers for this company in order to transport products to final customers with the lowest transportation costs using mathematical model. Analysis results via processing with LINGO software revealed that the company should have one warehouse locating in Samut Prakan province and twelve distribution centers which will reduce transportation cost by 1,343,170 baht per month or 6.1%.

Keywords: Location Problem, Warehouse and Distribution Center, Mathematical Model

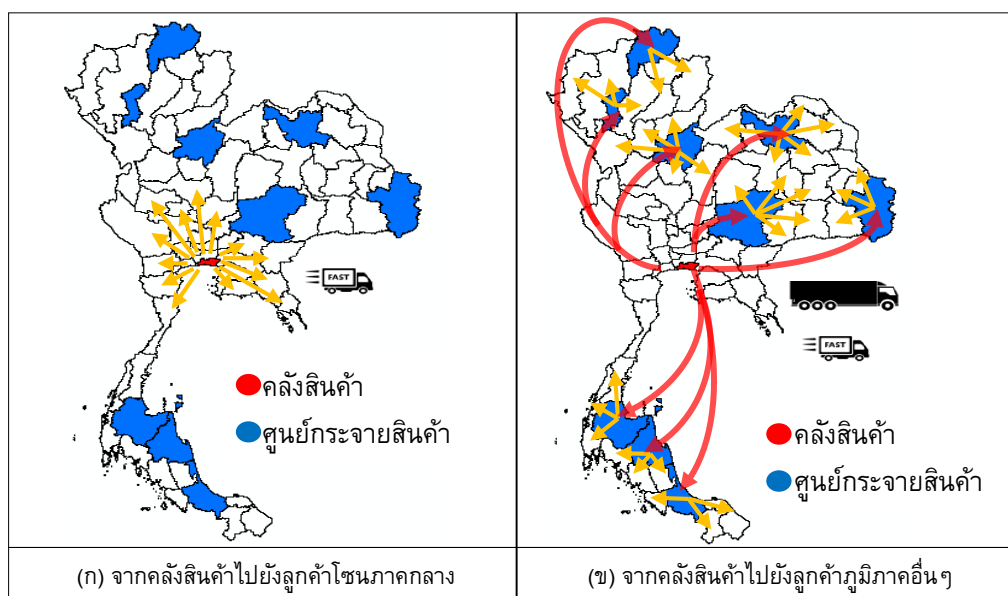
*Corresponding e-mail: walailaknoi@gmail.com

^{1,2}Department of Statistics, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1. บทนำ

บริษัท ไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชัน จำกัด เป็นบริษัทในเครือของบริษัท ไปรษณีย์ไทย จำกัด ซึ่งเป็นผู้ให้บริการขนส่งบุคคลที่ 3 ทำหน้าที่กระจายสินค้าแบบครบวงจรบริษัทหนึ่งตามนโยบายดิจิทัล อีโคโนมี ปัจจุบันบริษัท ไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชัน จำกัด ดำเนินการให้บริการขนส่งในกลุ่มยาและเวชภัณฑ์ อุปกรณ์สื่อสาร อิเล็กทรอนิกส์และไอที อีคอมเมิร์ซ เมลลอร์เดอร์และเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน ซึ่งร้อยละ 95 ของการให้บริการทั้งหมดเป็นการขนส่งกลุ่มยาและเวชภัณฑ์

จากการขยายตัวทางเศรษฐกิจและการเติบโตของอีคอมเมิร์ซทำให้ความต้องการในกลุ่มธุรกิจขนส่งเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปัจจุบันมีผู้ประกอบการในกลุ่มธุรกิจขนส่งเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากทั้งที่เป็นผู้ประกอบการรายเดิมและผู้ประกอบการรายใหม่ที่กำลังจะเข้ามาในอนาคต ส่งผลทำให้ส่วนแบ่งทางการตลาดในกลุ่มธุรกิจขนส่งมีการแข่งขันที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นบริษัท ไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชัน จำกัด จึงให้ความสำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงานอย่างต่อเนื่องซึ่งจะส่งผลให้บริษัทเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน รวมถึงการหาแนวทางลดต้นทุนการขนส่งเนื่องจากร้อยละ 80 ของต้นทุนรวมเป็นต้นทุนที่เกิดจากการขนส่งสินค้า จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นพบว่าบริษัท ไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชัน จำกัด มีคลังสินค้า 1 แห่งตั้งอยู่ในพื้นที่ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ และมีศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Center: DC) อีก 9 แห่งกระจายอยู่ในจังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศดังนี้ เชียงราย ลำพูน พิษณุโลก อุตรดิตถ์ นครราชสีมา อุบลราชธานี สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช และสงขลา เส้นทางขนส่งสินค้าจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ดังนี้ ส่วนแรกจะเริ่มจากต้นทางคือบริษัทผู้ผลิตใน จ.ระยอง ขนส่งไปยังคลังสินค้าที่ จ.สมุทรปราการด้วยรถบรรทุก 18 ล้อ ส่วนที่สองคือการจัดส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังกลุ่มลูกค้าในโซนภาคกลางจะมีลักษณะเป็นแบบ Milk Run โดยใช้รถกระบะ 4 ล้อที่มีระบบควบคุมอุณหภูมิ ในส่วนที่สามจะเป็นการจัดส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังกลุ่มลูกค้าในภูมิภาคอื่นๆ จะมีลักษณะเป็นแบบ Cross Docking กับ Milk Run เนื่องจากมีการใช้รถบรรทุก 18 ล้อบรรทุกสินค้าจากคลังสินค้าไปยังศูนย์กระจายสินค้าในช่วงเวลากลางคืน จากนั้นทำการคัดแยกและเปลี่ยนถ่ายยานพาหนะที่ศูนย์กระจายสินค้าก่อนจะใช้รถกระบะ 4 ล้อที่มีระบบควบคุมอุณหภูมิกระจายสินค้าให้กับลูกค้าในแต่ละจังหวัดดังรูปที่ 1 ซึ่งคลังสินค้า 1 แห่งในปัจจุบันนั้นมีการดำเนินการในลักษณะสัญญาเช่า ดังนั้นบริษัท จึงมีแนวคิดที่จะวิเคราะห์ความเหมาะสมของที่ตั้งคลังสินค้าในปัจจุบันเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาการต่อสัญญาเช่าคลังสินค้าครั้งต่อไป



รูปที่ 1 รูปแบบการขนส่งสินค้ากลุ่มยาและเวชภัณฑ์ของบริษัท ไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชัน จำกัดในปัจจุบัน

โดยทั่วไปปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม (Facility Location Problem :FLP) คือการกำหนดจำนวน ขนาด และตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการเพื่อให้ต้นทุนการขนส่ง ระยะทาง หรือระยะเวลาในการส่งมอบสินค้าน้อยที่สุด (จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน, 2554) และการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ถูกนำไปใช้ประยุกต์ในการแก้ไขปัญหาอย่างกว้างขวางทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์ ธุรกิจ วิทยาการคอมพิวเตอร์และอุตสาหกรรม โดยการแปลงปัญหาจริงให้อยู่ในรูปของตัวแบบทางคณิตศาสตร์และสามารถปรับเปลี่ยนค่าข้อมูลต่างๆ เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของผลเฉลยโดยให้โปรแกรมประมวลผลตามสถานการณ์ใหม่ๆ (กรุง สินอภิมย์สรณ, 2545) ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมที่สามารถลดต้นทุนการขนส่งสินค้าโดยรวมที่เกิดจากการขนส่งด้วยรถบรรทุกขนาดใหญ่และการขนส่งด้วยรถกระบะ 4 ล้อให้กับบริษัท ไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชัน จำกัด ในการที่จะขนส่งสินค้ากลุ่มยาและเวชภัณฑ์ไปยังลูกค้าปลายทางในจังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศด้วยต้นทุนการขนส่งโดยรวมที่ต่ำที่สุดโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้บริษัท ไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชัน จำกัด สามารถใช้เป็นแนวทางประกอบการพิจารณาการต่อสัญญาเช่าในครั้งต่อไปก่อนคลังสินค้าจะหมดสัญญาเช่าในปี 2565 หรือใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทเพื่อให้สามารถแข่งขันได้

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนโดยรวมที่ต่ำที่สุด โดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

3. ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษารูปแบบการขนส่งสินค้าในกลุ่มยาและเวชภัณฑ์เท่านั้น
2. เก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการสินค้าในแต่ละจังหวัดตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคม 2562
3. พิจารณาหาตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้าไปพร้อมๆ กัน โดยจังหวัดที่จะใช้ในการพิจารณาค่าตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้ามีทั้งหมด 25 จังหวัด ได้แก่ เชียงราย ลำพูน พะเยา นครราชสีมา อุดรธานี อุบลราชธานี นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี สงขลา สมุทรปราการ อยุธยา ปทุมธานี กรุงเทพมหานคร พระนครศรีอยุธยา เชียงใหม่ ลำปาง ร้อยเอ็ด ชัยภูมิ มหาสารคาม สกลนคร ขอนแก่น กาฬสินธุ์ และศรีสะเกษ โดยพิจารณาจากจังหวัดที่อยู่บริเวณตรงกลางของแต่ละภูมิภาคและมีความต้องการสินค้าในปริมาณมาก
4. การคำนวณระยะทางจากต้นทางไปยังปลายทางจะใช้พิกัดของศาลากลางประจำจังหวัดแทนตำแหน่งคลังสินค้า ศูนย์กระจายสินค้า หรือลูกค้าปลายทางในจังหวัดนั้นๆ

4. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 ต้นทุนการขนส่ง

ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการจัดการด้านการขนส่งนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทได้ดังนี้ (<https://www.logisticafe.com>)

4.1.1.1 ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) ในบางครั้งต้นทุนประเภทนี้อาจเรียกชื่ออื่น เช่น Constant Cost หรือ Overhead Cost เป็นต้นทุนที่จะต้องทำการจ่ายเป็นประจำโดยไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณกิจกรรมการขนส่ง เช่น ค่าเช่าที่ดินอาคาร ค่าประกันภัย ค่าทะเบียนยานพาหนะ และค่าเสื่อมราคา เงินเดือนพนักงาน เป็นต้น

4.1.1.2 ต้นทุนผันแปร (Variable Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่มีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณการบริการขนส่ง เช่น ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าซ่อมแซม ค่าน้ำมันหล่อลื่น ค่าบำรุงรักษา และค่าธรรมเนียมในการผ่านทาง เป็นต้น

4.1.1.3 ต้นทุนรวม (Total Cost หรือ Joint Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่รวมเอาต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรเข้าไว้ด้วยกันไม่สามารถจะแยกออกได้ว่าต้นทุนของการขนส่งสินค้าหรือบริการแต่ละประเภทนั้นเป็นเท่าใด เช่น การขนส่งทางรถไฟ โดยรถขบวนหนึ่งอาจมีทั้งผู้โดยสาร สินค้าและบริการอยู่ในขบวนเดียวกัน ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจะเป็นต้นทุนรวมกัน เป็นต้น

4.1.1.4 ต้นทุนเที่ยวกลับ (Back Haul Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่ได้รวมค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) ที่เกิดจากการขนส่งสินค้าหรือบริการไปยังจุดหมายปลายทางแล้วในเที่ยวกลับไม่มีสินค้าบรรทุกกลับ ในกรณีนี้จึงต้องมีการคิดถึงต้นทุนเที่ยวกลับรวมไว้ใน การคิดต้นทุนค่าบริการขนส่งด้วย

4.2 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง

การเลือกทำเลที่ตั้งมีความสำคัญต่อความสำเร็จขององค์กร กล่าวคือหากเลือกทำเลที่ไม่เหมาะสม จะทำให้องค์กรประสบปัญหาอื่น ๆ ตามมา เช่น ค่าขนส่งสูงเนื่องจากสถานประกอบธุรกิจอยู่ไกลจากแหล่งวัตถุดิบ และตลาด การเลือกทำเลที่ตั้งสถานประกอบธุรกิจต่าง ๆ โดยทั่วไปมักจะพยายามหาทำเลที่ทำให้ต้นทุนรวมของการผลิตสินค้าและบริการที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยจันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน (2554) ได้กล่าวว่า โดยทั่วไปปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง (Facility Location Problem: FLP) เป็นการกำหนดจำนวน ขนาด และตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการ พร้อมทั้งจัดสรรการให้บริการเพื่อให้ต้นทุนการขนส่ง ระยะทาง หรือระยะเวลาในการส่งมอบสินค้าหรือบริการน้อยที่สุด วิธีการแก้ปัญหาแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic Method) ที่ใช้ระยะเวลาในการคำนวณน้อยกว่า แต่อาจให้คุณภาพของคำตอบต่ำกว่าเมื่อเทียบกับวิธีแม่นยำตรง (Exact Method) ที่มีคุณลักษณะเฉพาะเจาะจงแต่ให้คำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ซึ่งหากใช้ปัจจัยที่มีผลต่อแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวิธีแม่นยำตรง จะแบ่งปัญหาได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

4.2.1 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบดีเทอร์มินิสติก เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมโดยพิจารณา ณ เวลาใดเวลาหนึ่งที่ทำการตัดสินใจและพิจารณาปัจจัยนำเข้าเป็นค่าที่ทราบค่าแน่นอนและมีค่าคงที่ แบ่งออกเป็น 5 ประเภทตามวัตถุประสงค์ในการตั้งสถานที่ให้บริการ ดังนี้

4.2.1.1 ปัญหาระยะทางรวมน้อยที่สุด (Minimum Facility Location Problem) เป็นปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการจำนวน P แห่ง เพื่อให้ระยะทาง ระยะเวลา หรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งระหว่างสถานที่ให้บริการกับลูกค้าทุกคนมีค่าน้อยที่สุด

4.2.1.2 ปัญหาครอบคลุมความต้องการของลูกค้า (Covering Problem) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ลูกค้าสามารถเข้ารับบริการได้อย่างทั่วถึงด้วยระยะทางหรือระยะเวลาที่ยอมรับได้ เช่น สถานีดับเพลิง โรงพยาบาล เป็นต้น ปัญหานี้ยังแบ่งออกได้อีก 2 ประเภท คือ 1) Set Covering Problem เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการโดยใช้ต้นทุนในการสร้างน้อยที่สุดเพื่อให้ครอบคลุมกลุ่มลูกค้าทั้งหมด และ 2) Maximal Covering Problem เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการจำนวน P แห่ง เพื่อให้สามารถครอบคลุมความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุด

4.2.1.3 ปัญหาระยะทางไกลสุดที่น้อยที่สุด (Minimax Facility Location Problems) เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมให้กับสถานที่ให้บริการ P แห่ง เพื่อให้ลูกค้าที่อยู่ไกลที่สุดได้อยู่ใกล้สถานที่ให้บริการมากที่สุด โดยทั่วไปจะเรียกปัญหานี้ว่า ปัญหา P-Center

4.2.1.4 ปัญหาสถานที่ให้บริการที่ไม่พึงประสงค์ (Obnoxious Facility Location Problem) สถานที่ที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขอนามัยของสถานที่ใกล้เคียง แต่ก็ยังเป็นสถานที่ที่มีประโยชน์และไม่ต้องการให้อยู่ห่างจากลูกค้ามากเกินไปเนื่องจากเหตุผลด้านต้นทุนการขนส่ง เช่น โรงงานกำจัดขยะ โรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ บ่อบำบัดน้ำเสีย

4.2.1.5 ปัญหาอื่นๆ ที่มีความหลากหลายตามรายละเอียดเพิ่มเติมของปัญหา เช่น สถานที่ให้บริการหรือขายสินค้าที่มีความหลากหลาย (Multi-Commodity) หรือกรณีที่มีการส่งมอบสินค้าในหลายระดับ (Multi-Level)

4.2.2 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบพลวัต ในความเป็นจริงปัญหา FLP เป็นการตัดสินใจที่ส่งผลในระยะยาวซึ่งข้อมูลนำเข้าอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา วิธีแก้ปัญหาก็จะใช้วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยพิจารณาที่ละจุดเวลาแล้วนำตำแหน่งที่ดีที่สุดของแต่ละจุดเวลามาพิจารณาเลือกตำแหน่งที่ดีที่สุดอีกครั้ง ซึ่งต่อมา Scott (1971) ได้พิสูจน์ว่า คำตอบที่ได้ยังไม่ใช่ว่าคำตอบที่ดีที่สุดพร้อมกับนำเสนอแนวคิดการแก้ปัญหา กำหนดการพลวัต (Dynamic Programming) ซึ่งให้คำตอบที่ดีที่สุดในระยะเวลาคำนวณที่ยอมรับได้

4.2.3 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบสโตแคสติก เป็นปัญหา FLP ที่พิจารณาปัจจัยนำเข้าเป็นค่าที่ไม่แน่นอนแต่สามารถอธิบายได้ด้วยความน่าจะเป็น

4.2.4 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบโรบัสต์ ปัญหา FLP ที่พิจารณาปัจจัยนำเข้าเป็นค่าที่ไม่แน่นอนที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยความน่าจะเป็น มีเป้าหมายคือต้องการให้ผลลัพธ์เป็นการตัดสินใจที่ดีแม้ค่าพารามิเตอร์จะเปลี่ยนไปตามความไม่แน่นอนที่พิจารณา โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะอยู่ในรูปแบบที่ต้องการทำให้ค่าเสียโอกาสที่เกิดจากการตัดสินใจผิดพลาดหรือค่าใช้จ่ายที่มากที่สุดมีค่าน้อยที่สุด

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งโดยพิจารณาปัจจัยนำเข้าเป็นค่าที่ทราบค่าแน่นอนและมีค่าคงที่ ดังนั้นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้จึงนับเป็นตัวแบบที่พัฒนามาจากปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบดีเทอร์มินิสติก

4.3 กำหนดการเชิงเส้น

4.3.1 องค์ประกอบของกำหนดการเชิงเส้น

องค์ประกอบของกำหนดการเชิงเส้นประกอบด้วยตัวแปรตัดสินใจ หลักเกณฑ์และกลุ่มเงื่อนไข ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดผลการตัดสินใจว่าต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขทั้งหมด (ศักดิ์สิทธิ์ สุขสุเมฆ, 2557) โดยรายละเอียดแต่ละองค์ประกอบมีดังนี้

4.3.1.1 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) ตัวแปรที่ผู้ตัดสินใจเลือกได้ว่าจะให้มีค่าเท่าใด ค่าของตัวแปรเหล่านี้เป็นตัวกำหนดถึงผลลัพธ์ที่ได้ เช่น จำนวนการผลิต ต้นทุน รายได้ ระยะทาง เวลา เป็นต้น

4.3.1.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ตัวแปรที่ต้องการให้มีค่าที่ดีที่สุดซึ่งอาจเป็นค่าสูงสุด (Maximization) หรือค่าต่ำสุด (Minimization)

4.3.1.3 ข้อจำกัดหรือเงื่อนไข (Constraints) เงื่อนไขบังคับที่ต้องปฏิบัติตามหรือข้อจำกัดด้านทรัพยากรต่างๆ อาจเป็นเงื่อนไขหรือข้อจำกัดด้านกายภาพ ด้านการเงิน ด้านการผลิต เงื่อนไขทางตรรกะ หรือเงื่อนไขด้านอื่นๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา

4.3.2 รูปแบบมาตรฐานของปัญหากำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม

กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming: ILP) มีรูปแบบของปัญหาในลักษณะเดียวกับปัญหากำหนดการเชิงเส้นรูปแบบทั่วไป แต่จะมีการระบุค่าของตัวแปรตัดสินใจให้มีค่าเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น เพื่อให้สอดคล้องกับรูปแบบปัญหาจริงนำไปใช้ปฏิบัติงานได้จริง (สุปรีชา วงศ์อารีย์, 2558) โดยรูปแบบมาตรฐานของปัญหากำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มมี 2 ลักษณะขึ้นอยู่กับว่าเป็นปัญหาที่ต้องการหาค่าสูงสุดหรือต้องการหาค่าต่ำสุดดังนี้

กำหนดให้

จำนวนกิจกรรมทั้งหมดเท่ากับ n กิจกรรม

จำนวนเงื่อนไขบังคับเท่ากับ m เงื่อนไข

P คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

X_j คือ ตัวแปรตัดสินใจตัวที่ j

C_j คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรตัวที่ j ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เช่น กำไรต่อหน่วย ต้นทุนต่อหน่วย

a_{ij} คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ j ในเงื่อนไขบังคับข้อที่ i

b_j คือ ค่าคงที่ทางขวามือของเงื่อนไขบังคับข้อที่ i
ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

Maximize หรือ Minimize $P = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$
เงื่อนไขบังคับ

$$\begin{array}{lllll} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n & (<, \leq, >, \geq, =) & b_1 \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n & (<, \leq, >, \geq, =) & b_2 \\ \vdots & & \vdots \\ a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n & (<, \leq, >, \geq, =) & b_m \\ X_j & \geq 0 \\ X_j & = \text{Integer} ; \forall j \end{array}$$

4.3.3 การหาผลเฉลยของปัญหากำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม

วิธีการหาผลเฉลยอย่างง่ายสำหรับปัญหากำหนดการเชิงเส้นที่มีตัวแปรตัดสินใจเพียง 2-3 ตัวแปร สามารถหาผลเฉลยโดยวิธีกราฟได้แต่หากจำนวนตัวแปรมีจำนวนมาก จะนิยมใช้วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) ที่มีพื้นฐานมาจากวิธีพีชคณิต แต่โดยทั่วไปตัวแบบกำหนดเชิงเส้นสำหรับปัญหาในทางธุรกิจและอุตสาหกรรมมักมีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมากทำให้ตัวแบบมีความซับซ้อนจึงนิยมนำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการหาผลเฉลย

4.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Andrés *et al.* (2014) ได้นำเสนอการกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมในการเลือกทำเลที่ตั้ง ขนาดและการทำงานของศูนย์กระจายสินค้าในเมืองเพื่อลดค่าใช้จ่ายหรือระยะทางรวมภายใต้ข้อจำกัดของปัญหา เช่น ระยะทางในการขนส่งสินค้า จำนวนและความจุของยานพาหนะ เป็นต้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวถูกเขียนด้วยภาษา GAMS (General Algebraic Modeling System) ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่เป็นกำหนดการเชิงเส้นดีกว่าวิธีฮิวริสติกแบบลำดับขั้นของ Montoya-Torres ในทุกกรณี โดยมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำกว่าถึง 30.57%

Shitai *et al.* (2014) ทำการเลือกทำเลที่ตั้งหอสังเกตการณ์ไฟฟ้าโดยใช้กำหนดการเชิงเส้นที่มีชื่อว่า Location Allocation Models เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและเพิ่มพื้นที่การแผ่รังสีให้ครอบคลุมมากที่สุด ตัวแบบถูกพัฒนาขึ้นมาโดยแยกเป็น 3 ประเด็นดังนี้ ค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดด้วยการครอบคลุมทั้งหมด การครอบคลุมที่มากที่สุดด้วยงบประมาณที่จำกัด และการครอบคลุมที่มากที่สุดด้วยค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ผลการวิจัยพบว่า หอสังเกตการณ์ 9 แห่งบนทำเลที่ตั้งที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถครอบคลุมพื้นที่ป่าได้ 97.5% และใช้งบประมาณแค่ 48 ล้านบาท มีความเหมาะสมมากกว่าการสร้างหอสังเกตการณ์ 20 แห่งที่ครอบคลุมพื้นที่ป่า 100% แต่ใช้งบประมาณสูงถึง 102 ล้านบาท

พัชรภรณ์ เนียมมณี และวลัยลักษณ์ อัครธีรวงศ์ (2555) ได้นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงระบบการกระจายเหรียญกษาปณ์โดยการจัดตั้งหน่วยรับแลกเหรียญ (Window) เพื่อให้สามารถครอบคลุมทุกอำเภอในประเทศไทย งานวิจัยนี้ได้ใช้กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มที่มีชื่อว่า ตัวแบบปัญหาการครอบคลุมเซต (Set Covering Problem Model) โดยมีข้อกำหนดด้านระยะทางระหว่างศูนย์กระจายเหรียญของสำนักบริหารเงินตรา กับพื้นที่ให้บริการในอำเภอต่างๆ ทั่วประเทศไม่เกิน 200 กิโลเมตรเพื่อให้รถขนส่งเหรียญสามารถวิ่งไป-กลับได้ภายใน 1 วัน ผลการวิจัยพบว่าควรมี Window ทั้งหมด 40 แห่ง

ปรางประเสริฐ น้อยสังข์ และ ชุมพล มณฑาทิพย์กุล (2560) ได้นำเสนอแนวคิดการนำปัจจัยหลายด้านมาพิจารณาร่วมกันในการคัดเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าส่วนภูมิภาคที่เหมาะสม โดยมีปัจจัยด้านต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและการขนส่ง ปัจจัยด้านความเสี่ยงต่ออุทกภัยและปัจจัยด้านรูปแบบการขนส่งทางรถไฟและเครื่องบิน โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมและวิเคราะห์หาคำตอบด้วยฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์และการโปรแกรมเป้าหมาย นอกจากนี้ยังทำการทดลองปรับค่าตัวแปรของปัจจัยเชิงคุณภาพให้เป็นค่าเชิง

ต้นทุน และวิเคราะห์หาค่าต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดจากต้นทุนรวมของทุกปัจจัยภายใต้ข้อมูลของสถานการณ์จำลองนี้ ผลจากการวิเคราะห์พบว่าพื้นที่ในจังหวัดชลบุรี นครราชสีมา สุราษฎร์ธานี และลำปาง ได้ถูกเลือกเพื่อเป็นที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าส่วนภูมิภาคจากพื้นที่ทางเลือกจำนวน 13 จังหวัดเนื่องจากส่งผลให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด ผลจากการวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ พบว่าจากการเปลี่ยนการให้ระดับความสำคัญของแต่ละวัตถุประสงค์ส่งผลให้คำตอบแตกต่างกัน

จารุพงษ์ บรรเทา และคณะ (2560) ได้พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ขยายมาจากตัวแบบ P-Median ที่ใช้หลักการของกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มเพื่อแก้ปัญหาการเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้าระดับภูมิภาคให้มีค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุดโดยพิจารณาจากต้นทุนการจัดตั้งคลังสินค้าแต่ละแห่งและค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เนื่องจากปัจจุบันศักยภาพด้านการผลิตสินค้าของไทยลดลงอย่างต่อเนื่องสวนทางกับทิศทางความต้องการใช้สินค้าของประชากรที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการมีระบบสำรองสินค้าที่มีประสิทธิภาพจะทำให้ประเทศไทยมีสินค้าใช้อย่างเพียงพอ กรณีศึกษาที่ใช้ข้อมูลของจังหวัดนครราชสีมา ผลการคำนวณพบว่า จำนวนคลังสินค้าที่เหมาะสมคือ 10 แห่งและมีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 413,773 บาท/ปี

อริวัฒน์ สีนะธรรม และเปรมพร เขมาวุฒม์ (2561) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าเพื่อเป็นศูนย์รวบรวมสินค้าจากโรงงานผลิตเบียร์ทั้ง 3 แห่งและเป็นศูนย์กระจายสินค้าให้กับกลุ่มลูกค้าในภาคใต้ เนื่องจากในปัจจุบันสินค้าจะถูกส่งจากโรงงานที่ผลิตไปยังลูกค้าโดยตรงและบางครั้งต้องใช้รถประเภท 10 ล้อ และ 6 ล้อในการจัดส่งซึ่งมีต้นทุนการขนส่งสูงกว่ารถเทรลเลอร์ การมีคลังสินค้าเพื่อรองรับการขนส่งด้วยรถเทรลเลอร์จะช่วยลดต้นทุนการขนส่ง งานวิจัยนี้ได้ใช้อำเภอเมืองของทั้ง 14 จังหวัดในภาคใต้เป็นตัวแปรตัดสินใจและประมวลผลด้วย Excel Solver ผลการวิจัยพบว่าควรตั้งคลังสินค้าที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยค่าขนส่งสุทธิหลังการวิจัยลดลง 30.70%

5. วิธีการดำเนินการวิจัย

5.1 รูปแบบการขนส่งสินค้ากลุ่มยาและเวชภัณฑ์ในปัจจุบัน

ปัจจุบันบริษัทมีคลังสินค้า 1 แห่งตั้งอยู่ในพื้นที่ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ และมีศูนย์กระจายสินค้า (DC) อีก 9 แห่งกระจายอยู่ในจังหวัดเชียงราย ลำพูน พะเยา ภูเก็ต อุดรธานี นครราชสีมา อุบลราชธานี สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช และสงขลา โดยตารางที่ 1 แสดงพื้นที่การให้บริการของคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่งดังนี้

ตารางที่ 1 พื้นที่การให้บริการของคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้าทั้ง 9 แห่งในปัจจุบัน

ต้นทาง	พื้นที่การให้บริการ
คลังสินค้า สมุทรปราการ	กรุงเทพ ชลบุรี นครปฐม สมุทรปราการ สุพรรณบุรี ราชบุรี นครสวรรค์ จะเข้เกรา ปทุมธานี อุดรยา สมุทรสาคร นนทบุรี สระแก้ว ประจวบคีรีขันธ์ สระบุรี จันทบุรี ลพบุรี ระยอง เพชรบุรี ปราจีนบุรี กาญจนบุรี นครนายก อุทัยธานี ตราด ชัยนาท สิงห์บุรี อ่างทอง สมุทรสงคราม
DC เชียงราย	เชียงราย น่าน พะเยา แพร่
DC ลำพูน	เชียงใหม่ ลำปาง ลำพูน แม่ฮ่องสอน
DC ภูเก็ต	เพชรบูรณ์ ภูเก็ต อุดรดิตถ์ สุโขทัย ตาก พิจิตร กำแพงเพชร
DC นครราชสีมา	นครราชสีมา ร้อยเอ็ด ชัยภูมิ บุรีรัมย์ มหาสารคาม สุรินทร์
DC อุดรธานี	อุดรธานี สกลนคร ขอนแก่น กาฬสินธุ์ เลย นครพนม หนองคาย บึงกาฬ หนองบัวลำภู
DC อุบลราชธานี	อุบลราชธานี ศรีสะเกษ ยโสธร อำนาจเจริญ มุกดาหาร
DC นครศรีธรรมราช	นครศรีธรรมราช พัทลุง ตรัง กระบี่
DC สุราษฎร์ธานี	สุราษฎร์ธานี ภูเก็ต พังงา ชุมพร ระนอง
DC สงขลา	สงขลา นราธิวาส สตูล ปัตตานี ยะลา

5.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

5.2.1 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของคลังสินค้าแต่ละแห่ง ต้นทุนการขนส่งสินค้าและปริมาณความจุของยานพาหนะแต่ละประเภท

เนื่องจากศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่งมีการดำเนินกิจกรรมที่เหมือนกันคือเป็นเพียงศูนย์รับสินค้าและเปลี่ยนถ่ายยานพาหนะเท่านั้น ดังนั้น ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนสำหรับศูนย์กระจายสินค้าแห่งใหม่จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนที่มากที่สุดของศูนย์กระจายสินค้าที่มีอยู่ในปัจจุบันซึ่งเท่ากับ 162,700 บาทต่อเดือน ส่วนค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนสำหรับคลังสินค้าแห่งใหม่จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนของคลังสินค้าที่มีอยู่ 1 แห่งในปัจจุบันซึ่งเท่ากับ 5,000,000 บาทต่อเดือน เนื่องจากคลังสินค้าเป็นสถานที่สำหรับเก็บรักษาสินค้าไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิเพื่อรณาส่งลูกค้าจึงมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าโดยอ้างอิงที่ได้รับจากทางบริษัท

ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้ามีทั้งหมด 2 ประเภท ได้แก่ รถกระบะ 4 ล้อสำหรับการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าหรือศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าปลายทางและรถบรรทุก 18 ล้อสำหรับการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังศูนย์กระจายสินค้า ดังแสดงในตารางที่ 2 สำหรับต้นทุนการขนส่งสินค้าภายในจังหวัดที่ถูกเลือกให้เป็นคลังสินค้าหรือศูนย์กระจายสินค้าจะทำการขนส่งด้วยรถกระบะ 4 ล้อและมีค่าใช้จ่ายประมาณ 1,850 บาทต่อเที่ยว โดยอ้างอิงจากข้อมูลต้นทุนการขนส่งสินค้าของทางบริษัทซึ่งได้รวมต้นทุนที่เกี่ยวกลับไว้เรียบร้อยแล้ว

ตารางที่ 2 ต้นทุนการขนส่งสินค้าและจำนวนบรรทุกของยานพาหนะแต่ละประเภท

ประเภทยานพาหนะ	ต้นทุนการขนส่ง (บาท/กม.)	จำนวนบรรทุก (กล่อง/คัน)
รถกระบะ 4 ล้อ	22	7
รถบรรทุก 18 ล้อ	38	60

5.2.2 ความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละจังหวัดและจำนวนเที่ยวรถกระบะ 4 ล้อ

ความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละจังหวัดกำหนดให้เป็นค่าคงที่โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากข้อมูลความต้องการสินค้าแต่ละจังหวัดตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง มีนาคม 2562 เนื่องจากหน่วยงานรัฐได้มีการกำหนดจำนวนลูกค้าที่สามารถรองรับได้ต่อเดือนทำให้จำนวนลูกค้าแต่ละจังหวัดในแต่ละเดือนค่อนข้างคงที่ ส่วนจำนวนเที่ยวรถกระบะ 4 ล้อคำนวณจากความต้องการสินค้าแต่ละจังหวัดหารด้วยจำนวนบรรทุกดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งผลการคำนวณที่ได้จะถูกปัดขึ้นให้เป็นเลขจำนวนเต็มทั้งหมดเนื่องจากบริษัทจำเป็นต้องจัดส่งแม้ไม่เต็มคันรถ

ตารางที่ 3 ความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละจังหวัดและจำนวนเที่ยวรถกระบะ 4 ล้อ

ลูกค้าปลายทาง	ความต้องการสินค้า (กล่อง)	จำนวนเที่ยวรถกระบะ 4 ล้อ
1.กรุงเทพ	1,406	201
2.ชลบุรี	354	51
3.นครปฐม	331	48
⋮	⋮	⋮
77.ยะลา	53	8

5.2.4 ระยะทางการขนส่งสินค้าจากต้นทางไปยังปลายทาง

การคำนวณระยะทางการขนส่งสินค้าจากต้นทางไปยังปลายทางเพื่อนำไปใช้กับตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ มีขั้นตอนดังนี้

5.2.4.1 เก็บรวบรวมข้อมูลพิกัด Latitude/Longitude ของศาลากลางประจำจังหวัดจาก Google Map เพื่อใช้เป็นตัวแทนตำแหน่งที่ตั้งของแต่ละจังหวัด

5.2.4.2 ใช้ค่าพิกัด Latitude/Longitude ของแต่ละจังหวัดที่เก็บรวบรวมจากข้อ 5.2.4.1 ในการหา ระยะทางระหว่างต้นทาง-ปลายทางแต่ละคู่จาก Google Map โดยกำหนดให้เซต I คือ คลังสินค้า $\{1,2,3,...,25\}$ เซต J คือ ศูนย์กระจายสินค้า $\{1,2,3,...,25\}$ เซต K คือ ลูกค้าปลายทาง $\{1,2,3,...,77\}$ และแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ช่วงดังนี้ 1) ระยะทางจากคลังสินค้า i ไปยังศูนย์กระจายสินค้า j 2) ระยะทางจากคลังสินค้า i หรือศูนย์กระจายสินค้า j ไปยังลูกค้าปลายทาง k ดังแสดงในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ระยะทางจากคลังสินค้า i ไปยังศูนย์กระจายสินค้า j (หน่วย: กิโลเมตร)

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	25
1	0	216	384	745	650	989	1,510	1,401	1,706	...	796
2	212	0	317	679	583	922	1,416	1,308	1,609	...	874
3	381	320	0	384	360	628	1,127	995	1,319	...	579
4	749	688	391	0	316	341	1,002	893	1,198	...	280
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
25	937	875	578	284	382	63	1,281	1,172	1,477	...	0

ตารางที่ 5 ระยะทางจากคลังสินค้า i หรือศูนย์กระจายสินค้า j ไปยังลูกค้าปลายทาง k (หน่วย: กิโลเมตร)

$i, j/k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	77
1	0	216	384	745	650	989	1,510	1,401	1,706	...	1,830
2	212	0	317	679	583	922	1,416	1,308	1,609	...	1,733
3	381	320	0	384	360	628	1,127	995	1,319	...	1,440
4	749	688	391	0	316	341	1,002	893	1,198	...	1,323
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
25	937	875	578	284	382	63	1,281	1,172	1,477	...	0

5.3 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

เซต (Set)

I คือ คลังสินค้า $\{1,2,3,...,25\}$

J คือ ศูนย์กระจายสินค้า $\{1,2,3,...,25\}$

K คือ ลูกค้าปลายทาง $\{1,2,3,...,77\}$

พารามิเตอร์ (Parameters)

F_j คือ ต้นทุนการดำเนินการของศูนย์กระจายสินค้า j

D_i คือ ระยะทางในการขนส่งสินค้าจากบริษัทผู้ผลิตไปยังคลังสินค้า i

D_{ij} คือ ระยะทางในการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้า i ไปยังศูนย์กระจายสินค้า j

D_{ik} คือ ระยะทางในการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้า i ไปยังลูกค้า k

D_{jk} คือ ระยะทางในการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า j ไปยังลูกค้า k

R_i คือ จำนวนเที่ยวรถบรรทุก 18 ล้อสำหรับขนส่งสินค้าจากบริษัทผู้ผลิตไปยังคลังสินค้า i

R_j คือ จำนวนเที่ยวรถบรรทุก 18 ล้อสำหรับขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าที่กำหนดไปยัง

ศูนย์กระจายสินค้า j

N_i คือ จำนวนเที่ยวรถกระบะ 4 ล้อสำหรับขนส่งสินค้าภายในจังหวัดที่ถูกเลือกให้เป็น
คลังสินค้า i

N_j คือ จำนวนเที่ยวรถกระบะ 4 ล้อสำหรับขนส่งสินค้าภายในจังหวัดที่ถูกเลือกให้เป็น
ศูนย์กระจายสินค้า j

N_k คือ จำนวนเที่ยวรถกระบะ 4 ล้อสำหรับขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าหรือศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้า k

Q_k คือ ปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้า k

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

$Y_i \in \{0,1\}$ โดย $Y_i = 1$ ถ้าเลือกตั้งคลังสินค้าที่ตำแหน่ง i มิฉะนั้น $Y_i = 0$

$Z_j \in \{0,1\}$ โดย $Z_j = 1$ ถ้าเลือกตั้งศูนย์กระจายสินค้าที่ตำแหน่ง j มิฉะนั้น $Z_j = 0$

$X_{ij} \in \{0,1\}$ โดย $X_{ij} = 1$ ถ้าคลังสินค้า i ทำการส่งสินค้าไปยังศูนย์กระจายสินค้า j
มิฉะนั้น $X_{ij} = 0$

$X_{ik} \in \{0,1\}$ โดย $X_{ik} = 1$ ถ้าคลังสินค้า i ทำการส่งสินค้าไปยังลูกค้า k มิฉะนั้น $X_{ik} = 0$

$X_{jk} \in \{0,1\}$ โดย $X_{jk} = 1$ ถ้าศูนย์กระจายสินค้า j ทำการส่งสินค้าไปยังลูกค้า k
มิฉะนั้น $X_{jk} = 0$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & (5,000,000 \times \sum_{i=1}^{25} Y_i) + (\sum_{j=1}^{25} F_j Z_j) + (38 \times \sum_{i=1}^{25} D_i R_i Y_i) + (38 \times \sum_{i=1}^{25} \sum_{j=1}^{25} D_{ij} R_j X_{ij}) \\ & + (1,850 \times (\sum_{i=1}^{25} N_i Y_i + \sum_{j=1}^{25} N_j Z_j)) + (22 \times \sum_{i=1}^{25} \sum_{k=1}^{77} D_{ik} N_k X_{ik}) + (22 \times \sum_{j=1}^{25} \sum_{k=1}^{77} D_{jk} N_k X_{jk}) \quad (1) \end{aligned}$$

ภายใต้ข้อจำกัด

$$\sum_{i=1}^{25} Y_i \geq 1 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{25} X_{ik} + \sum_{j=1}^{25} X_{jk} = 1 \quad ; \forall k \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{25} X_{ij} = Z_j \quad ; \forall j \quad (4)$$

$$X_{ij} \leq Y_i \quad ; \forall i, \forall j \quad (5)$$

$$X_{ij} = 0 \quad ; \forall i = j \quad (6)$$

$$X_{ik} \leq Y_i \quad ; \forall i, \forall k \quad (7)$$

$$X_{jk} \leq Z_j \quad ; \forall j, \forall k \quad (8)$$

$$R_i \geq (\sum_{k=1}^{77} Q_k X_{ik} + \sum_{j=1}^{25} \sum_{k=1}^{77} Q_k X_{jk} X_{ij}) / 60 \quad ; \forall i \quad (9)$$

$$R_j \geq (\sum_{k=1}^{77} Q_k X_{jk}) / 60 \quad ; \forall j \quad (10)$$

$$Y_i \in \{0,1\} \quad ; \forall i \quad (11)$$

$$Z_j \in \{0,1\} \quad ; \forall j \quad (12)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad ; \forall i, \forall j \quad (13)$$

$$X_{ik} \in \{0,1\} \quad ; \forall i, \forall k \quad (14)$$

$$X_{jk} \in \{0,1\} \quad ; \forall j, \forall k \quad (15)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือสมการเป้าหมาย (1) เป็นการหาตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้าที่ทำให้ต้นทุนการขนส่งสินค้าโดยรวมมีค่าต่ำที่สุด โดยพจน์ที่ 1 แทนต้นทุนการดำเนินงานของคลังสินค้า พจน์ที่ 2 แทนต้นทุนการดำเนินงานของศูนย์กระจายสินค้า พจน์ที่ 3 แทนต้นทุนการขนส่งสินค้าจาก จ.ระยอง ไปยังคลังสินค้า พจน์ที่ 4 แทนต้นทุนการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังศูนย์กระจายสินค้า พจน์ที่ 5 แทนต้นทุนการขนส่งสินค้าภายในจังหวัดที่ถูกเลือกให้เป็นคลังสินค้าหรือศูนย์กระจายสินค้า พจน์ที่ 6 แทนต้นทุนการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังลูกค้า และพจน์ที่ 7 แทนต้นทุนการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้า สมการข้อจำกัด (2) เป็นการยืนยันว่าคลังสินค้าต้องมีอย่างน้อย 1 แห่ง สมการข้อจำกัด (3) เป็นการยืนยันว่าลูกค้าทุกจังหวัดจะได้รับสินค้า สมการข้อจำกัด (4) และ (5) เป็นการยืนยันว่าศูนย์กระจายสินค้า j ที่เปิดให้บริการจะได้รับสินค้าจากคลังสินค้าแค่เพียง 1 แห่งและเป็นคลังสินค้า i ที่เปิดให้บริการเท่านั้น สมการข้อจำกัด (6) เป็นการยืนยันว่าใน 1 จังหวัดจะมีแค่คลังสินค้าหรือศูนย์กระจายสินค้าแค่เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น สมการข้อจำกัด (7) และ (8) เป็นการยืนยันว่าลูกค้าที่ k จะได้รับสินค้าจากคลังสินค้า i หรือศูนย์กระจายสินค้า j ที่เปิดให้บริการเท่านั้น สมการข้อจำกัด (9) เป็นการคำนวณหาจำนวนเที่ยวรถบรรทุกที่ต้องวิ่งจาก จ.ระยอง ไปยังคลังสินค้า i ที่เปิดให้บริการ สมการข้อจำกัด (10) เป็นการคำนวณหาจำนวนเที่ยวรถบรรทุกที่ต้องวิ่งจากคลังสินค้าไปยังศูนย์กระจายสินค้า j ที่เปิดให้บริการ สมการข้อจำกัด (11) ถึง (15) เป็นข้อจำกัดเชิงตัวเลขของตัวแปรตัดสินใจ

5.4 การประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO

การแปลงตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในหัวข้อ 5.3 ให้อยู่ในรูปแบบภาษาที่ใช้ในโปรแกรม LINGO แบ่งออกเป็น 5 ส่วนดังนี้ การนิยามเซต การนิยาม ตัวแปรตัดสินใจ การนิยามพารามิเตอร์ การนิยามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และการนิยามข้อจำกัด ดังแสดงในรูปที่ 2 จากนั้นทำการประมวลผลด้วยคำสั่ง Solve

```

Sets:
    WH: Ni, Ri, Di, Yi;
    DC: Nj, Fj, Rj;
    Cus: Nk, Qk;
    IK(WH,Cus): Dik, Xik;
    IJ(WH,DC): Dij, Xij;
    JK(DC,Cus): Djk, Xjk;
End sets
Data:
    WH = @OLE(D:\LINGO\Thesis\MathModel.xlsx);
    Ni = @OLE(D:\LINGO\Thesis\MathModel.xlsx);
    DC = @OLE(D:\LINGO\Thesis\MathModel.xlsx);
    Nj = @OLE(D:\LINGO\Thesis\MathModel.xlsx);
    Fj = @OLE(D:\LINGO\Thesis\MathModel.xlsx);
    Cus = @OLE(D:\LINGO\Thesis\MathModel.xlsx);
    Nk = @OLE(D:\LINGO\Thesis\MathModel.xlsx);
    Qk = @OLE(D:\LINGO\Thesis\MathModel.xlsx);
    Di = @OLE(D:\LINGO\Thesis\MathModel.xlsx);
    Dik = @OLE(D:\LINGO\Thesis\MathModel.xlsx);
    Dij = @OLE(D:\LINGO\Thesis\MathModel.xlsx);
    Djk = @OLE(D:\LINGO\Thesis\MathModel.xlsx);
End data
!Objective Function;
Min = (@sum(WH(i): 5000000*Yi(i)) + @sum(DC(j): Fj(j)*Zj(j))
    + @sum(WH(i): 38*Di(i)*Ri(i)*Yi(i)) + @sum(IJ(i,j): 38*Dij(i,j)*Rj(j)*Xij(i,j))
    + (1850*(@sum(WH(i): Ni(i)*Yi(i))+@sum(DC(j): Nj(j)*Zj(j)))
    + @sum(IK(i,k): 22*Dik(i,k)*Nk(k)*Xik(i,k)) + @sum(JK(j,k): 22*Djk(j,k)*Nk(k)*Xjk(j,k)));
!Constraints;
@sum(WH(i): Yi(i)) >= 1;
@for(Cus(k): (@sum(WH(i): Xik(i,k))+@sum(DC(j): Xjk(j,k))) = 1);
@for(DC(j): @sum(WH(i): Xij(i,j)) = Zj(j));
@for(IJ(i,j): Xij(i,j) <= Yi(i));
@for(WH(i): Xij(i,i) = 0);
@for(IK(i,k): Xik(i,k) <= Yi(i));
@for(JK(j,k): Xjk(j,k) <= Zj(j));
@for(WH(i): Ri(i) >= (@sum(Cus(k): Qk(k)*Xik(i,k)) + @sum(JK(j,k): Qk(k)*Xjk(j,k)*Xij(i,j))/60);
@for(DC(j): Rj(j) >= @sum(Cus(k): Qk(k)*Xjk(j,k))/60);
@for(WH(i): @Bin(Yi));
@for(DC(j): @Bin(Zj));
@for(IJ(i,j): @Bin(Xij));
@for(IK(i,k): @Bin(Xik));
@for(JK(j,k): @Bin(Xjk));
@for(WH(i): @Gin(Ri));
@for(DC(j): @Gin(Rj));
    
```

รูปที่ 2 การแปลงตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO

6. ผลการวิจัย

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม LINGO พบว่าผลลัพธ์ที่ทำให้ต้นทุนการดำเนินงานที่เกิดขึ้นโดยรวมมีค่าต่ำสุดนั้นคือ มีคลังสินค้า 1 แห่งที่จังหวัดสมุทรปราการและศูนย์กระจายสินค้าทั้งหมด 12 แห่งใน 12 จังหวัดได้แก่ จังหวัดลำพูน พะเยา โขงเมือง นครราชสีมา อุตรดิตถ์ สุราษฎร์ธานี สงขลา อุดรธานี พะเยา แพร่ มหาสารคาม สกลนคร และ ศรีสะเกษ ทำให้ต้นทุนโดยรวมมีค่าเท่ากับ 20,667,214 บาทต่อเดือน ซึ่งสามารถลดต้นทุนการขนส่งสินค้าโดยรวมได้ถึง 1,343,170 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 6.10 ดังตารางที่ 6 สำหรับพื้นที่การให้บริการของคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่งที่ได้จากโปรแกรม LINGO แสดงไว้ในตารางที่ 7

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบต้นทุนที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานในปัจจุบันและตัวแบบที่นำเสนอ

รูปแบบการขนส่งสินค้า	จำนวน		ต้นทุนการดำเนินงาน		ต้นทุนการขนส่งสินค้า		ต้นทุนรวม	ลดลง (บาท/เดือน)	ลดลง (%)
	WH	DC	WH	DC	รถ 18 ล้อ	รถ 4 ล้อ			
ปัจจุบัน	1	9	5,000,000	1,226,548	7,694,392	8,089,434	22,010,384	-	-
ตัวแบบที่นำเสนอ	1	12	5,000,000	1,692,628	7,748,276	6,226,310	20,667,214	1,343,170	6.10

ตารางที่ 7 พื้นที่การให้บริการของคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่งจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ต้นทาง	พื้นที่ให้บริการ
คลังสินค้า สมุทรปราการ	สมุทรปราการ กรุงเทพฯ ชลบุรี นครปฐม ราชบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรสาคร นนทบุรี สระแก้ว ประจวบคีรีขันธ์ จันทบุรี ระยอง เพชรบุรี ปราจีนบุรี ตราด สมุทรสงคราม
1. DC ลำพูน	ลำพูน เชียงใหม่
2. DC พะเยา	พะเยา เพชรบูรณ์ อุตรดิตถ์ สุโขทัย ตาก พิจิตร กำแพงเพชร
3. DC นครราชสีมา	นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์
4. DC อุตรดิตถ์	อุตรดิตถ์ เลย หนองคาย บึงกาฬ หนองบัวลำภู
5. DC สุราษฎร์ธานี	นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี กระบี่ ภูเก็ต พังงา ชุมพร ระนอง
6. DC สงขลา	สงขลา พัทลุง นราธิวาส สตูล ปัตตานี ยะลา ตรัง
7. DC อุดรธานี	อุดรธานี ปทุมธานี นครสวรรค์ สุพรรณบุรี สระบุรี ลพบุรี กาญจนบุรี นครนายก อุทัยธานี ชัยนาท สิงห์บุรี อ่างทอง
8. DC พะเยา	เชียงราย พะเยา แม่ฮ่องสอน
9. DC แพร่	แพร่ ลำปาง น่าน
10. DC มหาสารคาม	มหาสารคาม ร้อยเอ็ด ขอนแก่น กาฬสินธุ์ ยโสธร
11. DC สกลนคร	สกลนคร นครพนม มุกดาหาร
12. DC ศรีสะเกษ	อุบลราชธานี ศรีสะเกษ สุรินทร์ อำนาจเจริญ

7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

ปัจจุบันการขนส่งสินค้ากลุ่มยาและเวชภัณฑ์ของบริษัท ไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชั่น จำกัด ดำเนินการขนส่งกลุ่มยาและเวชภัณฑ์จากบริษัทผู้ผลิตหลักที่จังหวัดระยองไปยังคลังสินค้าที่จังหวัดสมุทรปราการ จากนั้นทำการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Center: DC) 9 แห่งกระจายอยู่ใน จังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศได้แก่ จังหวัด เชียงราย ลำพูน พะเยา โขงเมือง นครราชสีมา อุบลราชธานี สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช และสงขลา เพื่อกระจายสินค้าไปยังลูกค้าที่กระจายอยู่ในจังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศ โดยมีค่าใช้จ่ายใน

การดำเนินงานของคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้าและการขนส่งเท่ากับ 22,010,384 บาทต่อเดือน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อเลือกตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมที่จะทำให้ต้นทุนโดยรวมของบริษัทมีค่าต่ำที่สุด ผลการวิจัยพบว่าตัวแบบที่นำเสนอมีต้นทุนโดยรวมต่ำกว่าการดำเนินงานในปัจจุบันเท่ากับ 1,343,170 บาทต่อเดือน หรือลดลงร้อยละ 6.10 โดยตัวแบบที่เหมาะสมนั้นประกอบไปด้วยการตั้งคลังสินค้า 1 แห่งที่จังหวัดสมุทรปราการ และศูนย์กระจายสินค้าทั้งหมด 12 แห่งใน 12 จังหวัดได้แก่ จังหวัดลำพูน พะเยา นครราชสีมา อุตรดิตถ์ สุราษฎร์ธานี สงขลา อุดรธานี พะเยา แพร่ มหาสารคาม สกลนคร และศรีสะเกษ เพื่อกระจายสินค้าไปยังลูกค้าในจังหวัดใกล้เคียง

7.2 ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ต้นทุนคงที่หรือค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสำหรับคลังสินค้าหรือศูนย์กระจายสินค้าแห่งใหม่เป็นค่าคงที่ แต่ในทางปฏิบัติค่าเช่าสถานที่ในแต่ละแห่งจะมีความแตกต่างกัน เนื่องจากบางแห่งเช่าพื้นที่ของเอกชน แต่บางแห่งสามารถใช้พื้นที่ของบริษัท ไปรษณีย์ไทย จำกัด เช่น ศูนย์กระจายสินค้าที่จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายในส่วนค่าเช่าสถานที่ต่ำกว่าจังหวัดอื่นๆ ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตผู้ที่สนใจอาจศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนคงที่ที่มีความแตกต่างกันไปตามลักษณะภูมิประเทศและเศรษฐกิจและขนาดของศูนย์กระจายสินค้าซึ่งจะทำให้ตัวแบบสามารถประยุกต์ใช้ได้กับสถานการณ์จริงมากยิ่งขึ้น

2. ในการศึกษาครั้งต่อไป อาจพิจารณาการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) เพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเมื่อความต้องการสินค้าของลูกค้าเปลี่ยนแปลงไป รวมถึงตัวแปรตัดสินใจอื่นๆ ที่มีผลต่อการเลือกตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้า เช่น ต้นทุนของคลังสินค้าหรือศูนย์กระจายสินค้าแห่งใหม่ตามราคาที่ดินในแต่ละจังหวัดตามประกาศของกรมธนารักษ์ รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการขนส่งที่อาจส่งผลต่อคุณภาพสินค้าเนื่องจากสินค้าเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทยา

3. การพิจารณาเกี่ยวกับประเภทยานพาหนะหรือรูปแบบการออกแบบการขนส่งที่มีความหลากหลายมากขึ้น อาจจะช่วยลดต้นทุนการขนส่งโดยรวมได้มากขึ้น

4. ผู้ตัดสินใจอาจนำปัจจัยด้านคุณภาพ เช่น ด้านระบบสาธารณูปโภค ด้านการจัดหาที่ดิน ด้านแรงงาน มาใช้ประกอบในการตัดสินใจเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นและเป็นการเพิ่มทางเลือกในการตัดสินใจ

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท ไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชั่น จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และอนุญาตให้ใช้ข้อมูลของบริษัทในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรุง สินอภิมย์สราน. (2545). การแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดในเชิงปฏิบัติสำหรับอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คำนาย อภิปรัชญาสกุล. (2550). การจัดการขนส่ง. (พิมพ์ครั้งที่ 1). นนทบุรี: ซี.วาย.ซี.ซี.เอ็ม. พรินติ้ง จำกัด.
- จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน. (2554). การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการด้วยวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด. วิศวกรรมสาร มก., 24(78), 107-122.
- จารุพงษ์ บรรเทา, พงษ์ศักดิ์ นาใจคง, ธัญชนก งามสมโกชน, เสาวลักษณ์ อาจใจ และณัฐญา วงละคร. (2560). ตัวแบบการกำหนดที่ตั้งคลังสินค้า กรณีศึกษาโรงพยาบาลในเขตจังหวัดนครราชสีมา. การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 8, 494-500.

- ปรางประเสริฐ น้อยสังข์ และ ชุมพล มณฑาทิพย์กุล. (2560). การเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าภูมิภาคในประเทศไทย โดยการวิเคราะห์ ปัจจัยเชิงปริมาณร่วมกับปัจจัยเชิงคุณภาพด้วยฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์. **วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน**, 5 (1), 60-70.
- พัชรารณณ์ เนียมมณี และวลัยลักษณ์ อัครีวงศ์. (2555). ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาที่ตั้ง Window สำหรับการกระจายเหรียญกษาปณ์. **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการด้านการชื้ออุปทานและโลจิสติก ครั้งที่ 11**, ชลบุรี: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 77-86.
- ศักดิ์สิทธิ์ ศุขสุเมฆ. (2557). สร้างแบบจำลองเพื่อการตัดสินใจ (**Optimization Modeling**) ด้วย **Excel (Solver)**. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- สุปรีชา วงศ์อารีย์. (2558). กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มและการประยุกต์. อดิรธานี: สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2561). รายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทยประจำปี **2560**. ค้นเมื่อ 23 เมษายน 2562 จาก <http://www.nesdb.go.th>.
- อริวัฒน์ ลีเนตรธรรม และเปรมพร เขมาวุฒม์. (2561). การเลือกตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษา โรงงานผลิตเบียร์. **Engineering Journal of Siam University**, 19(1), 14-26.
- Andrés, F. M., Jairo, R. M., and Nilson, H. (2014). Mathematical Programming Modeling and Resolution of the Location-Routing Problem in Urban Logistics. **The Engineering and University journal (Colombia)**, 18(2), 271-289.
- Scott, A.J. (1971). Dynamic Location-Allocation Systems: Some Basic Planning Strategies. **Environment and Planning**, 3, 73-82.
- Shitai, B., Ningchuan, X., Zehui, L., Heyuan, Z. and Changjoo, K. (2015). Optimizing watchtower locations for forest fire monitoring using location models. **Fire Safety Journal**, 71, 100-109.
- Logisticafe. ต้นทุนของการขนส่ง (**Cost of Transportation**) คืออะไร?. ค้นเมื่อ 23 เมษายน 2562 จาก <https://www.logisticafe.com>.