การพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทนเพื่อการประเมินนโยบายการกระจายสินค้าและโลจิสติกส์ในเขตเมือง

Multi-Agent Systems Model Development to Evaluate City Logistics and Distribution Policies

วิศรุต ช่วยจันทร์

Witsarut Chuayjan

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Prince of Songkla University

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทนเพื่อการประเมินนโยบายการกระจายสินค้าและโลจิสติกส์ในเขตเมือง

Multi-Agent Systems Model Development to Evaluate City Logistics and Distribution Policies

วิศรุต ช่วยจันทร์

Witsarut Chuayjan

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Prince of Songkla University

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทนเพื่อการประเมินนโยบายการกระจายสินค้าและโลจิสติกส์ในเขตเมือง

ผู้เขียน นายวิศรุต ช่วยจันทร์

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา (วิศวกรรมการขนส่ง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(อาจารย์ ดร. อรกมล วังอภิสิทธิ์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เสกสรร สุธรรมานนท์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. อรกมล วังอภิสิทธิ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. เกรียงไกร อรุโณทยานันท์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรเมศวร์ เหลือเทพ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (วิศวกรรมการขนส่ง)

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(อาจารย์ ดร. อรกมล วังอภิสิทธิ์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ.....
(นายวิศรุต ช่วยจันทร์)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นายวิศรุต ช่วยจันทร์)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทนเพื่อการประเมินนโยบายการกระจายสินค้าและโลจิสติกส์ในเขตเมือง
ผู้เขียน นายวิศรุต ช่วยจันทร์
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา (วิศวกรรมขนส่ง)
ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

แบบจำลองระบบหลายตัวแทน (Multi-Agent Systems, MAS) เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการประเมินแผนนโยบายให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระบบการขนส่งสินค้า ซึ่งการขนส่งสินค้ามีความสำคัญเป็นอย่างมากกับธุรกิจค้าขาย กล่าวคือ การขนส่งสินค้านั้นเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดต้นทุนของราคาสินค้า อีกทั้งการขนส่งสินค้าในเขตเมืองนั้นมักก่อให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัด และอัตราการปล่อยมลพิษทางอากาศที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบจากแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้ากับการคิดค่าบริการพื้นที่จอดรถและค่าผ่านทาง โดยใช้กรณีศึกษาตลาดกิมหยง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นแหล่งธุรกิจที่สำคัญของจังหวัดสงขลา

จากการวิเคราะห์ผลกระทบของนโยบายการจัดส่งสินค้าในเขตเมืองโดยแบบจำลองหลายตัวแทนนี้ พบว่า นโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้านั้นสามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าลงได้ 3.99 เท่า ลดจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่งสินค้าลง 3.75 เท่า อีกทั้งระยะทางในการขนส่งสินค้าและปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศ ประกอบด้วย 1) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) 2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ 3) ปริมาณฝุ่นละออง (Suspended Particulate Matter : (SPM)) ลดลง 3.78 เท่า รวมถึงความสามารถในการบรรทุกสินค้าเพิ่มขึ้นจากกรณีไม่ใช้บริการศูนย์กระจายสินค้า 4.30 เท่า อีกทั้งเมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายกรณีที่มีการเพิ่มนโยบายการคิดค่าบริการพื้นที่จอดรถและนโยบายการคิดค่าผ่านทางยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดส่งสินค้าและต้นทุนสินค้าของร้านค้าได้ ถึงแม้จะมีการเรียกเก็บค่าใช้บริการศูนย์กระจายสินค้า โดยกรณีที่เพิ่มนโยบายการคิดค่าบริการพื้นที่จอดรถนโยบายเดียวนั้นสามารถเรียกเก็บค่าใช้บริการได้ในอัตรา 15 บาทต่อกล่อง กรณีที่เพิ่มนโยบายการคิดค่าผ่านทางนโยบายเดียว สามารถเรียกเก็บค่าใช้บริการได้ในอัตรา 5 บาทต่อกล่อง ซึ่งหากพิจารณาการเพิ่มนโยบายทั้ง 2 นโยบายดังกล่าว ศูนย์กระจายสินค้าสามารถเรียกเก็บค่าใช้บริการได้ในอัตรา 15 บาทต่อกล่อง โดยไม่ทำให้ต้นทุนการจัดส่งสินค้าของร้านค้าสูงกว่าเดิม

อย่างไรก็ตามในการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้านั้นต้องมีการลงทุนและการบำรุงรักษาศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งควรได้รับการสนับสนุนจากทางภาครัฐเพื่อให้สามารถลดต้นทุน ลดการจราจรที่ติดขัดในเขตเมือง รวมถึงลดการปล่อยมลพิษในอากาศได้อีกด้วย

Thesis Title Multi-Agent Systems Model Development to Evaluate City Logistics and Distribution

Author Mr. Witsarut Chuayjan

Major Program Civil Engineering (Transportation Engineering)

Academic Year 2016

Abstract

The Multi-Agent Systems (MAS) model is used to evaluate policy schemes to study the behaviour of stakeholders in the logistics systems. In general, the transportation costs are very important to the trading business especially, they are a factor in determining the cost of goods. Moreover, the transportation and logistics in urban areas also causes traffic congestion and increased air pollution. Consequently, this research aims to study the impact of the distribution center, parking charge and road pricing policies on the behaviour of logistic's stakeholders.

From the MAS analytical, the distribution center policy can reduce the cost of freight by 3.99 times, reduce the number of vehicles used by 3.75 times, reduce the distance and air pollution by 3.78 times but increased truck capacity by 4.30 times. Besides considering the cost of adding a parking charge policy and road pricing policy, they can also reduce the transportation costs even though, they charge 15 Bahts per box and 5 Bahts per box when considering parking charge policy and road pricing policy respectively. Moreover, all implemented policies can be reduced the transportation cost and the UDC can be earned the profit although they charge 15 Bahts.

However, the construction of a distribution center requires the investment and maintenance of the distribution center. This should be supported by the government to reduce the costs, traffic congestion in urban areas and air pollution as well.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ ดร.อรกมล วังอภิสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. เสกสรร สุธรรมานนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. เกรียงไกร อรุโณทยานันท์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรเมศวร์ เหลือเทพ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัย ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ความเข้าใจ ทั้งในเชิงวิชาการและเทคนิคต่าง ๆ มากขึ้น รวมถึงการตรวจสอบข้อบกพร่องที่เกิดจากความเอาใจใส่

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาโท ปีการศึกษา 2558

ขอขอบพระคุณ คุณสุพิศ นนทะสร เจ้าหน้าที่สำนักงานประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา และภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่อำนวยความสะดวกในการจัดส่งเอกสารต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

ขอขอบคุณ พี่น้องและผองเพื่อนปริญญาโททุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการสำรวจข้อมูลและเป็นกำลังใจที่ดีแก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ครูอาจารย์ทั้งในอดีตและปัจจุบันที่ได้ให้การอบรม สั่งสอน ให้ความรู้แก่ผู้วิจัย ซึ่งส่งผลให้ผู้วิจัยสามารถมาสู่อีกจุดสำเร็จหนึ่งของชีวิตได้

ท้ายที่สุดผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่มอบความรัก อบรมสั่งสอน เลี้ยงดู ส่งเสริมการศึกษา ให้การช่วยเหลือด้านต่าง ๆ และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา ทำให้การศึกษาและทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

วิศรุต ช่วยจันทร์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... **(5)**
กิตติกรรมประกาศ ..... **(8)**
สารบัญ ..... **(9)**
สารบัญรูป ..... **(11)**
สารบัญตาราง ..... **(12)**
บทที่ 1 บทนำ **1**
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3
1.3.1 พื้นที่ศึกษา 3
1.3.2 กลุ่มตัวอย่าง 4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
บทที่ 2 ทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง **6**
2.1 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
2.1.1 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองระบบหลายตัวแทน 6
2.1.2 งานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง 7
2.1.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการขนส่งในเขตเมือง 8
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 10
2.2.1 การขนส่งสินค้าในเขตเมือง 10
2.2.2 แบบจำลองระบบหลายตัวแทน 13
2.2.3 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง 14
2.2.4 การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง 18
2.2.5 การวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศ 19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย **20**
3.1 กรอบการดำเนินงานวิจัย 20
3.2 การทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 การพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทน 22
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลและการสำรวจข้อมูล 24
3.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบหลายตัวแทน 24
3.6 สรุปผลการศึกษาและเสนอข้อเสนอแนะ 24
บทที่ 4 ผลการศึกษาการพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทน 25
4.1 การปรับเทียบแบบจำลองระบบหลายตัวแทน 25
4.2 การเก็บรวบรวมและสำรวจข้อมูล 30
4.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบหลายตัวแทน 38
4.3.1 ข้อกำหนดของแบบจำลองระบบหลายตัวแทน 39
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 44
5.1 สรุปผลการศึกษา 44
5.2 ข้อเสนอแนะ 46
5.2.1 ข้อเสนอแนะในเชิงวิจัย 46
5.2.2 ข้อเสนอแนะในเชิงนโยบาย 46
บรรณานุกรม 47
ภาคผนวก ก แบบสำรวจข้อมูลผู้ประกอบการร้านค้าในตลาดกิมหยง 50
ภาคผนวก ข การเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถ 56
ภาคผนวก ค การเก็บค่าบริการค่าผ่านทาง 65
ภาคผนวก ง ข้อมูล SOLOMON BENCHMARK PROBLEMS 74
ภาคผนวก จ บทความวิจัยที่นำเสนอและได้รับการตีพิมพ์ 90
บทความงานวิจัยเรื่องที่ 1 91
บทความงานวิจัยเรื่องที่ 2 101
ประวัติผู้เขียน 109

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1-1 พื้นที่ศึกษาของงานวิจัย....3
รูปที่ 1-2 โครงข่ายถนนในแบบจำลอง....4
รูปที่ 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระบบการขนส่งสินค้า....10
รูปที่ 2-2 การทำงานของแบบจำลองระบบหลายตัวแทน....13
รูปที่ 2-3 ตัวอย่างการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า....16
รูปที่ 2-4 ลักษณะการเดินทางไปยังแหล่งอาหารของมด....17
รูปที่ 2-5 กระบวนการการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง....18
รูปที่ 3-1 กรอบการดำเนินงานวิจัย....21
รูปที่ 3-2 โครงข่ายถนนในการพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทน....23
รูปที่ 4-1 ตำแหน่งลูกค้าประเภท R1....26
รูปที่ 4-2 ตำแหน่งลูกค้าประเภท C1....27
รูปที่ 4-3 ตำแหน่งที่ตั้งลูกค้าประเภท RC1....28
รูปที่ 4-4 สัดส่วนประเภทสินค้าที่จำหน่ายของกลุ่มตัวอย่าง....32
รูปที่ 4-5 สัดส่วนประเภทยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าของกลุ่มตัวอย่าง....33
รูปที่ 4-6 สัดส่วนความถี่ในการขนส่งสินค้าของกลุ่มตัวอย่าง....34
รูปที่ 4-7 สัดส่วนปริมาณสินค้าที่สั่งในแต่ละครั้งของกลุ่มตัวอย่าง....34
รูปที่ 4-8 สัดส่วนช่วงเวลาที่ใช้ขนส่งสินค้าของกลุ่มตัวอย่าง....35
รูปที่ 4-9 สัดส่วนระยะเวลาที่ใช้ในการขนย้ายสินค้าของกลุ่มตัวอย่าง....36
รูปที่ 4-10 สัดส่วนพื้นที่ต้นทางในการขนส่งสินค้ามาตลาดกิมหยงของกลุ่มตัวอย่าง....36
รูปที่ 4-11 ตำแหน่งที่ตั้งสถานที่ในแบบจำลองระบบหลายตัวแทน....38
รูปที่ 4-12 เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลอง กรณีไม่ใช้บริการศูนย์กระจายสินค้า และกรณีใช้บริการศูนย์กระจายสินค้า....40
รูปที่ 4-13 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายจากการใช้นโยบาย....41
รูปที่ 4-14 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์....41
รูปที่ 4-15 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์....42
รูปที่ 4-16 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยฝุ่นละออง....42

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 สมการในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง 15
ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบคำตอบจากแบบจำลองระบบหลายตัวแทน และ Solomon benchmark problems.....29
ตารางที่ 4-2 ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง.....30

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

รูปแบบการขนส่งสินค้าภายในประเทศของประเทศไทยในปัจจุบัน มีรูปแบบการขนส่งสินค้าหลัก แบ่งเป็น 4 รูปแบบ ประกอบด้วย การขนส่งสินค้าทางถนน การขนส่งสินค้าทางราง การขนส่งสินค้าทางน้ำ และการขนส่งสินค้าทางอากาศ โดยการขนส่งสินค้าทางถนนนั้นเป็นรูปแบบการขนส่งที่นิยมมากที่สุดประมาณร้อยละ 80.86 ของปริมาณการขนส่งสินค้าภายในประเทศทั้งหมด โดยมีปริมาณการขนส่งสินค้าประมาณ 482.3 ล้านตัน (กระทรวงคมนาคม, 2017) ซึ่งปัญหาในการขนส่งสินค้าทางถนนไม่ว่าจะเป็น สภาวการณ์ด้านต้นทุนเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปริมาณรถยนต์ที่เพิ่มมากขึ้นและปัญหาการจราจรที่แออัดในบางเส้นทางโดยเฉพาะในเขตเมืองใหญ่ เช่น กรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ ภูเก็ต ขอนแก่น นครราชสีมา และ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งถือได้ว่าเป็นเมืองที่มีการค้าขายเป็นลำดับต้น ๆ ของภาคใต้ เนื่องจากเป็นศูนย์กลางทางเศรษฐกิจ การค้า และเป็นเมืองที่มีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทย และชาวต่างชาติเดินทางเข้ามาท่องเที่ยวเป็นจำนวนมาก ซึ่งปัญหาที่ตามมาคือ การจราจรที่แออัดรวมไปถึงปัญหาที่จอดรถที่ไม่เพียงพอต่อจำนวนรถที่เดินทางเข้าสู่ในกลางเมืองหาดใหญ่ ซึ่งจากปัญหาเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปัญหาการจราจรที่แออัดส่งผลให้เกิดต้นทุนในการขนส่งสินค้าเพิ่มสูงขึ้น

การใช้ศูนย์กระจายสินค้า เป็นนโยบายหนึ่งที่สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายและจำนวนเที่ยวในการขนส่งสินค้าได้ โดยผู้ผลิตสามารถขนส่งสินค้ามาที่ศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว และศูนย์กระจายสินค้าจะทำการกระจายสินค้าไปสู่ร้านค้าแต่ละรายตามที่ร้านค้าต้องการ ไม่จำเป็นต้องมีสถานที่เก็บสินค้าขนาดใหญ่และสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของคลังสินค้าของร้านค้าได้ อีกทั้งนโยบายการคิดค่าบริการพื้นที่จอดรถและนโยบายการเก็บค่าผ่านทางในการขนส่งสินค้าเข้าสู่เขตเมืองนั้น ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้เพื่อแก้ปัญหาการจราจรติดขัดและลดการปล่อยมลพิษทางอากาศจากการขนส่งสินค้า

ปัจจุบันมีงานวิจัยมากมาย เกี่ยวกับแบบจำลองระบบหลายตัวแทน (Multi-Agent Systems, MAS) ได้ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมืออย่างแพร่หลายในหลากหลายสาขาวิชา เพื่อวิเคราะห์และประเมินความสัมพันธ์และพฤติกรรมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียได้มากกว่าหนึ่งตัวแทน สำหรับการศึกษานี้จึงได้นำแบบจำลองระบบหลายตัวแทนเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินแผนนโยบายในการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปสู่ร้านค้า เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตามวัตถุประสงค์ของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระบบการขนส่งสินค้าเมื่อมีการเสนอนโยบายข้างต้น โดยรายละเอียดของ MAS และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจะกล่าวถึงในบทที่ 2

จากปัญหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า ปัญหาการจราจรติดขัดในเขตเมือง ปัญหามลพิษทางอากาศ ดังกล่าวข้างต้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวการศึกษานี้จึงได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบหลายตัวแทนเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ซึ่งผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการศึกษานี้จะสามารถพัฒนาระบบการขนส่งสินค้าไปยังย่านการค้าในเขตเมืองให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเกิดผลกระทบกับผู้ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งให้น้อยที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อประเมินแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า นโยบายการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถ และนโยบายการเก็บค่าผ่านทางในการจัดส่งสินค้าไปยังตลาดกิมหยง โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ข้อ ประกอบด้วย

1) เพื่อศึกษาผลกระทบจากแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า นโยบายการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถ และนโยบายการเก็บค่าผ่านทางในการจัดส่งสินค้าในเขตเมืองด้านต้นทุนในการขนส่ง

2) เพื่อศึกษาผลกระทบจากแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า นโยบายการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถ และนโยบายการเก็บค่าผ่านทางในการจัดส่งสินค้าในเขตเมืองด้านสิ่งแวดล้อม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

สำหรับขอบเขตของการวิจัยในครั้งนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ข้อหลัก ดังนี้

1.3.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้ คือ ตลาดกิมหยง ตั้งอยู่ที่ ถนนแสงอาทิตย์ ตำบลหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

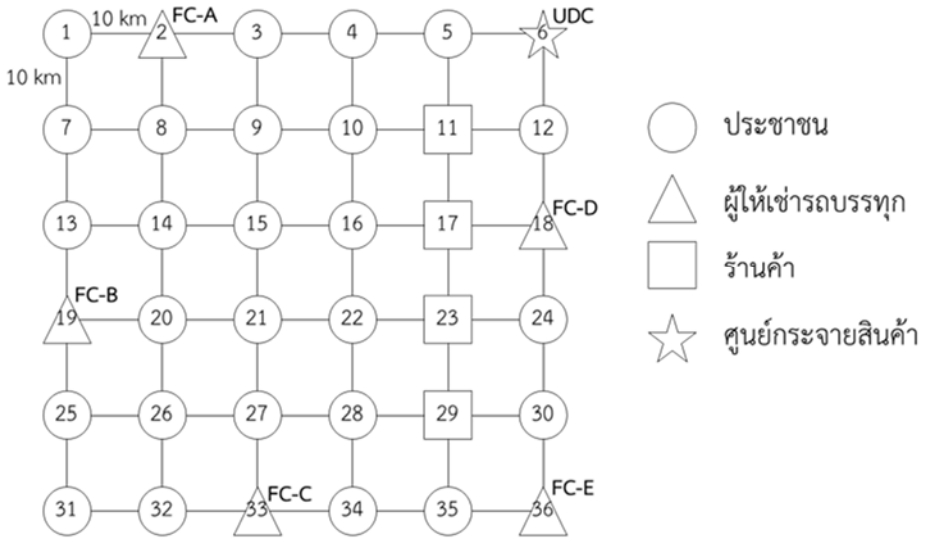
ที่มา: ดัดแปลงจาก http://www.google.co.th/maps

รูปที่ 1-1 พื้นที่ศึกษาของงานวิจัย

1.3.2 กลุ่มตัวอย่าง

สำหรับกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย

1) กลุ่มตัวอย่างในการพัฒนาแบบจำลอง Multi-Agent Systems ประกอบด้วย ผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกสินค้าจำนวน 5 แห่ง ร้านค้าจำนวน 4 แห่ง ประชาชนทั่วไปจำนวน 26 แห่ง และศูนย์กระจายสินค้าจำนวน 1 แห่ง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1-2



ที่มา: จัดทำโดยผู้วิจัย

รูปที่ 1-2 โครงข่ายถนนในแบบจำลอง

2) กลุ่มตัวอย่างในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง Multi-Agent Systems กับพื้นที่ศึกษาบริเวณตลาดกิมหยง โดยทำการเก็บข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งและปริมาณการจำหน่ายสินค้าของร้านค้าในตลาดกิมหยง และรวบรวมข้อมูลเส้นทางที่ใช้ขนส่งสินค้าในปัจจุบัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการศึกษางานวิจัย การประเมินแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า นโยบายการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถ และนโยบายการเก็บค่าผ่านทาง ในการจัดส่งสินค้าไปยังตลาดกิมหยง ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้ มีดังนี้

1) ทราบแนวทางแผนนโยบายที่สามารถลดต้นทุนในการขนส่งสินค้าในเขตเมือง

2) ทราบแนวทางแผนนโยบายที่สามารถลดปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศจากการขนส่งสินค้าในเขตเมือง

บทที่ 2
ทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินแผนนโยบายการจัดส่งสินค้าไปยังตลาดกิมหยง ด้วยแบบจำลองระบบหลายตัวแทน การศึกษานี้ได้มีการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยสามารถนำเอาทฤษฎีและวิธีการต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทนเพื่อประเมินแผนนโยบายการจัดส่งสินค้าไปยังตลาดกิมหยง

2.1 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองระบบหลายตัวแทน (Multi-Agent Systems : MAS)

Furtado and Frayret (2015) ได้นำแบบจำลองระบบหลายตัวแทนมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพการให้บริการการขนส่งสินค้า โดยการแบ่งพื้นที่ที่จะจัดส่งและทำการวิเคราะห์ปริมาณความจุของรถบรรทุกสินค้าในแต่ละคัน เพื่อให้เกิดความคุ้มทุนมากที่สุดในการขนส่งสินค้าในแต่ละเที่ยว โดยจะมีการพิจารณาจำนวนเที่ยวในการขนส่งสินค้า จำนวนเที่ยวเปล่าในการขนส่งสินค้า ระยะทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้า เวลาที่ใช้ในการขนส่งสินค้า รวมถึงวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

Wangapisit et al. (2014) ได้ใช้แบบจำลองระบบหลายตัวแทน ในการประเมินพฤติกรรมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการขนส่งสินค้าในเขตเมือง โดยมีการเพิ่มแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าและพิจารณาการเช่าพื้นที่จอดรถเพื่อใช้ในการขนส่งสินค้า โดยใช้การวิเคราะห์ปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งแบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแต่ไม่เคร่งครัดมากนัก (Vehicle Routing Problem with Soft Time Window : VRPSTW) ซึ่งเป็นการพิจารณาหาเส้นทางในการขนส่งสินค้าที่คุ้มทุนมากที่สุด และใช้ทฤษฎีการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning) ซึ่งเป็นการเรียนรู้ที่จะพัฒนาการเลือกเส้นทางที่ดีขึ้น

Teo et al. (2014) ได้ใช้แบบจำลองระบบหลายตัวแทน ในการประเมินการขนส่งสินค้าในเขตเมือง โดยการพิจารณาและไม่พิจารณาค่าผ่านทางในการขนส่งสินค้า ซึ่งจะมีผลกับการเลือกใช้เส้นทางในการขนส่งสินค้าและนำมาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศในการขนส่งสินค้า

(Baykasoğlu และ Kaplanoğlu 2015) ได้นำแบบจำลองระบบหลายตัวแทน ไปใช้ในการออกแบบและพัฒนาซอฟแวร์เพื่อใช้ในการวางแผนการขนส่ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งสินค้า โดยการพิจารณาน้ำหนักที่บรรทุกได้และจำนวนลูกค้าที่ต้องส่งสินค้า เพื่อให้ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการเดินทาง

(Esmaeili และ คณะ 2016) เป็นการนำระบบหลายตัวแทน มาใช้เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของพนักงานแต่ละระดับชั้นในองค์กร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงานในองค์กร

(Avci และ Selim 2016) เป็นการใช้ระบบหลายตัวแทน เพื่อตรวจสอบผลของตัวแปรการสั่งซื้อและการขนส่งสินค้าให้แก่ลูกค้าในต่างประเทศ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและมีความยืดหยุ่น โดยในบทความนี้ระบบสามารถปฏิเสธการขนส่งสินค้าที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงานได้

จากการทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองระบบหลายตัวแทนข้างต้น พบว่าแบบจำลองระบบหลายตัวแทน ได้มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของผู้ที่เกี่ยวข้องในระบบที่พิจารณา ในการศึกษานี้จึงได้เลือกแบบจำลองระบบหลายตัวแทนมาใช้เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังตลาดกิมหยงเมื่อมีการเพิ่มนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า นโยบายการคิดค่าบริการพื้นที่จอดรถ และนโยบายการคิดค่าผ่านทาง

2.1.2 งานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problems : VRP)

ธนา สาตรา และคณะ. (2012) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์การจัดลำดับเส้นทางการเดินรถที่มีความเหมาะสมทั้งระยะทางและเวลา โดยใช้วิธีการหาคำตอบแบบอาณานิคมมด ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลองได้ทำการเปรียบเทียบผลกับ Solomon benchmark problems ซึ่งค่าที่ได้นั้นแตกต่างอยู่ที่ประมาณ 3 – 9%

ราชการ ปรึกษาดี และ สุนันฑา สดสี (2008) ได้มีการสร้างแบบจำลองเพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบระหว่างวิธีระบบมดและวิธี Dijkstra’s algorithm ซึ่งในแบบจำลองจะได้จำนวนมดเท่ากับ 1,000 โดยผลที่ได้จากแบบจำลองสรุปได้ว่า วิธี Disjkstra’s algorithm นั้นจะให้ผลเฉลยเพียง 1 คำตอบเท่านั้น แต่วิธีมดจะให้คำตอบที่มากกว่า 1 คำตอบ ซึ่งทำให้วิธีมดมีความเหมาะสมกับการใช้งานในสภาพเส้นทางในปัจจุบัน เพราะเมื่อเส้นทางที่เหมาะสมมีปัญหา ก็จะสามารถหาเส้นทางที่เหมาะสมรองจากเส้นทางหลักได้ โดยไม่ต้องมาทำการค้นหาเส้นทางใหม่อีกครั้ง

Pokudom et al. (2015) ได้มีการใช้วิธีอาณานิคมมด เพื่อใช้หาเส้นทางในการขนส่งสินค้าที่ระยะทางและจำนวนรถในการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด ซึ่งในบทความนี้จะทำการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 เพื่อหาจำนวนมดที่เหมาะสมที่ให้ค่าที่ดีสุด จากนั้นจะทำการนำจำนวนมดที่ได้จากการทดลองที่ 1 และ 2 เพื่อนำไปทำการทดลองครั้งที่ 3 - 6 โดยเมื่อจำนวนรอบในการทำงานเพิ่มมากขึ้น จำนวนรถและระยะทางในการขนส่งสินค้าก็จะลดลงด้วย

ทัศนวรรณ และคณะ (2005) ได้เสนอการประยุกต์ใช้การจัดเส้นทางการเดินรถรับ – ส่งนักเรียน โดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) ซึ่งจะเป็นวิธีที่ใช้ในการค้นหาคำตอบโดยการเลียนแบบการทำงานของพันธุกรรมตามธรรมชาติ โดยจะทำการหาคำตอบที่ดีขึ้นมาชุดหนึ่ง จากนั้นก็ทำการหาคำตอบชุดใหม่ที่สามารถให้คำตอบที่ดีขึ้นกว่าคำตอบชุดเดิม ซึ่งผลที่ได้จากการใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมประมวลผลข้อมูลของโรงเรียนแห่งหนึ่งในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า ระยะเวลารวมทั้งหมดมากกว่าวิธีโปรแกรมเชิงจำนวนเต็มประมาณร้อยละ 3.5 โดยอาจเป็นผลมาจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดขึ้น ซึ่งได้มีการเสนอให้ควรมีการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาประเภทนี้ต่อไป

ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร (2014) ได้มีการประยุกต์ใช้การแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem) ในการจัดเส้นทางที่เหมาะสม เพื่อลดต้นทุนการขนส่งชานมไข่มุกให้กับร้านสาขาจำนวน 120 ร้านในแต่ละวัน ในเส้นทางเดิมนั้นจะใช้ระยะทางทั้งสิ้น 2,060 กิโลเมตร (วิ่ง 2 รอบ/วัน) คิดต้นทุนเฉพาะค่าเชื้อเพลิงจะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 7,722 บาท/วัน (ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง 29.99 บาท/ลิตร) หรือเท่ากับ 2,818,683.3 บาท/ปี ซึ่งเมื่อมีการจัดเส้นทางที่เหมาะสมนั้นเหลือระยะทางที่ใช้ในการขนส่งชานมไข่มุกให้กับร้านสาขา 1,686 กิโลเมตร ลดลงเที่ยวละ 187 กิโลเมตร/วัน คิดเป็นมูลค่าที่สามารถลดลงได้ 255,871 บาท/ปี

จากการทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งข้างต้น ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งเป็นวิธีการที่เป็นที่นิยมในการนำมาใช้หาเส้นทางที่เหมาะสมในการขนส่ง โดยพิจารณาทั้งระยะทาง เวลา และจำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งเพื่อให้ได้เส้นทางที่เหมาะสมที่สุด การศึกษานี้จึงได้มีการนำการจัดเส้นทางการขนส่งโดยวิธีอาณานิคมมดมาใช้เพื่อหาเส้นทางในการขนส่งสินค้าเพื่อให้ได้ระยะทาง เวลา และจำนวนรถที่ทำให้เกิดความคุ้มค่าที่สุด

2.1.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการขนส่งในเขตเมือง (City Logistics)

(Köster, Ulmer และ Mattfeld 2015) เป็นการศึกษาผลกระทบของความร่วมมือระหว่างผู้ดูแลและบริหารจัดการการจราจรในเขตเมืองและผู้ให้บริการขนส่งสินค้าในเขตเมือง ซึ่งใช้การบริหารจัดการจราจร ประกอบด้วย การควบคุมสัญญาณไฟจราจร การกำหนดความเร็ว และการควบคุมช่องทางจราจร ซึ่งช่วยให้ประสิทธิภาพในการขนส่งเพิ่มขึ้น 9%

(Morganti และ Gonzalez-Feliu 2015) ได้มีการนำเสนอการขนส่งสินค้าในเขตเมือง โดยการตั้งศูนย์กระจายสินค้า และทำการกระจายสินค้าไปยังลูกค้า โดยแบ่งประเภทของลูกค้าออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ลูกค้าที่เป็นตลาดขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ลูกค้าที่เป็นประเภทร้านขายของชำ และลูกค้าที่เป็นประเภทโรงแรม ซึ่งจะเน้นการขนส่งสินค้าเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารสด จึงทำให้การ

ขนส่งในเมืองที่มีการจราจรหนาแน่นนั้นเป็นไปด้วยความยากลำบาก การจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าในเขตเมืองนั้นจึงเป็นทางออกที่ดีที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ถึงลูกค้าได้อย่างรวดเร็วและไม่เกิดความเสียหาย

(Franceschetti และคณะ, 2017) ได้มีการศึกษาปัญหาเชิงกลยุทธ์ของผู้ให้บริการการขนส่งในการบริหารจัดการยานพาหนะเข้าสู่เขตเมืองซึ่งมีปัญหาในการเข้าถึงที่ยากลำบาก โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดปัญหาโดยแบ่งเป็นพื้นที่บริการเป็นรูปสี่เหลี่ยมและแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ซึ่งในแต่ละส่วนจะมีรถให้บริการแค่คันเดียว ความยาวของเส้นทางจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของลูกค้าในพื้นที่นั้น ๆ สำหรับเป้าหมายในการแบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วน ๆ นั้นเพื่อต้องการจัดการประเภทของยานพาหนะที่จะเข้าสู่เขตพื้นที่นั้น ๆ เพื่อลดค่าขนส่งและค่าแรงในการขนส่ง ซึ่งผลที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่า ความแตกต่างของประเภทยานพาหนะที่ใช้ขนส่งไปแต่ละพื้นที่นั้นอาจทำให้ยานพาหนะบางคันบรรจุสินค้าได้ไม่เต็มความสามารถของรถบรรทุก ซึ่งอาจส่งผลให้เป็นการเพิ่มขึ้นของยานพาหนะที่ต้องมาส่งสินค้าในพื้นที่นั้น ๆ

(Kauf, 2016) ได้มีการเสนอแนวโน้มการพัฒนาการขนส่งสินค้าในเขตเมือง โดยได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับการขนส่งที่ยั่งยืนและสิ่งจำเป็นสำหรับเทคโนโลยีที่เป็นนวัตกรรมในการใช้งาน เช่น การควบคุมการจราจรอัจฉริยะ รถบรรทุกแบบแยกส่วน ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความจุของรถบรรทุก รวมถึงทางเลือกของการขนส่งสินค้า โดยสิ่งเหล่านี้จะช่วยลดภาระต่อโครงสร้างพื้นฐานทางถนน ปัจจุบันนวัตกรรมในด้านการจัดส่งกำลังเติบโตและเพิ่มขึ้นเรื่อย ซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับลูกค้าในการเลือกซื้อสินค้าโดยจะมองถึงตัวเลือกในการจัดส่งสินค้าให้กับตัวลูกค้าว่าควรจะเลือกซื้อสินค้าจะผู้ประกอบการรายไหนที่ให้บริการจัดส่งสินค้าดีที่สุด

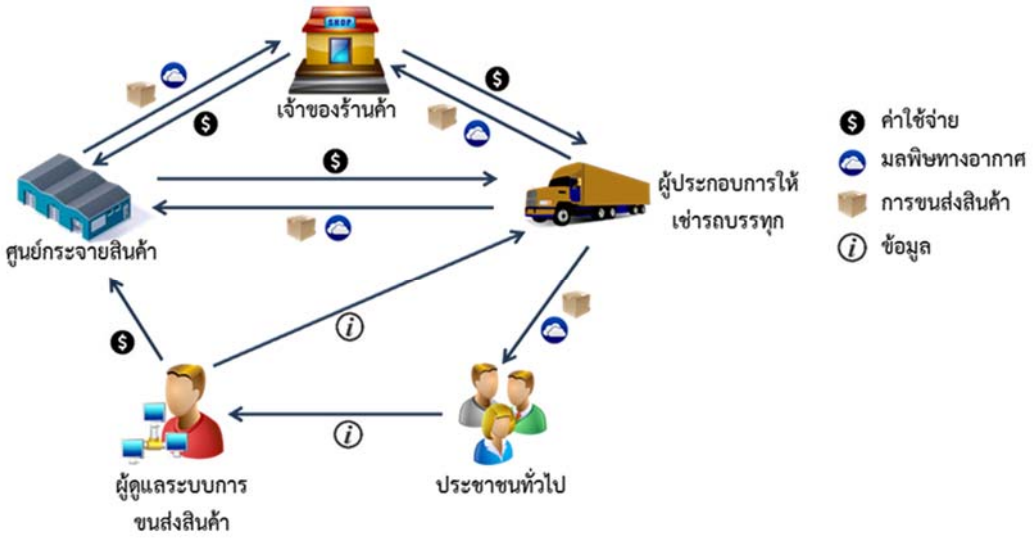
จากงานวิจัยเกี่ยวกับการขนส่งในเขตเมืองข้างต้น ได้มีการเสนอการบริหารจัดการการขนส่งสินค้าในเขตเมืองโดยการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า การควบคุมความเร็ว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งสินค้าไปในเขตเมือง การศึกษานี้จึงได้มีการพิจารณานโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งสินค้าในเขตเมือง

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การขนส่งสินค้าในเขตเมือง (City Logistics)

2.2.1.1. ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระบบการขนส่งสินค้า (Stakeholders)

สำหรับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับระบบการขนส่งสินค้านั้นจะประกอบด้วย *ผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกสินค้า เจ้าของร้านค้า ผู้ดูแลระบบการขนส่งสินค้า ผู้ดูแลศูนย์กระจายสินค้า และประชาชนทั่วไป* ซึ่งผู้มีส่วนได้ส่วนเสียแต่ละส่วนจะมีความสัมพันธ์กัน คือ ผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกสินค้าจะมีการขนส่งสินค้าให้เจ้าของร้านค้า ประชาชนทั่วไป และศูนย์กระจายสินค้า อีกทั้งมีการปล่อยมลพิษทางอากาศให้กับเจ้าของร้านค้ากับประชาชนทั่วไป เจ้าของร้านค้าจะมีค่าใช้จ่ายให้กับผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกสินค้าและผู้ดูแลศูนย์กระจายสินค้า ประชาชนทั่วไปจะมีการร้องเรียนเรื่องมลพิษทางอากาศกับผู้ดูแลระบบการขนส่งสินค้า ผู้ดูแลระบบการขนส่งสินค้าจะมีการจูงใจให้ผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าและให้การสนับสนุนเงินทุนกับผู้ดูแลศูนย์กระจายสินค้า ผู้ดูแลศูนย์กระจายสินค้าจะมีการขนส่งสินค้ากับการปล่อยมลพิษทางอากาศให้กับเจ้าของร้านค้าและมีค่าใช้จ่ายให้กับผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกสินค้า ซึ่งจากความสัมพันธ์ข้างต้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2-1



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระบบการขนส่งสินค้า

สำหรับพฤติกรรมและวัตถุประสงค์ของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระบบการขนส่งสินค้าประกอบด้วย

- **ผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุก**
  วัตถุประสงค์ : ต้องการให้เกิดค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด
  พฤติกรรม : เสนอค่าใช้จ่ายสำหรับการขนส่งสินค้าให้กับเจ้าของร้านค้า
- **เจ้าของร้านค้า**
  วัตถุประสงค์ : ต้องการให้ต้นทุนในการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด
  พฤติกรรม : สามารถเลือกตัวแทนผู้จัดส่งสินค้าได้
- **ประชาชนทั่วไป**
  วัตถุประสงค์ : ต้องการให้เกิดปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศจากการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด
  พฤติกรรม : สามารถร้องเรียนกับผู้ดูแลระบบการขนส่งสินค้าเมื่อเกิดการปล่อยมลพิษทางอากาศเกินข้อกำหนด
- **ผู้ดูแลศูนย์กระจายสินค้า**
  วัตถุประสงค์ : ต้องการผลกำไรจากการขนส่งสินค้ามากที่สุด
  พฤติกรรม : เสนอค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้ากับเจ้าของร้านค้าโดยไม่ให้เกิดความล่าช้า
- **ผู้ดูแลระบบการขนส่งสินค้า**
  วัตถุประสงค์ : เกิดการร้องเรียนเรื่องมลพิษทางอากาศจากประชาชนทั่วไปน้อยที่สุด
  พฤติกรรม : แนะนำให้ผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกกับเจ้าของร้านค้าให้ใช้ศูนย์กระจายสินค้าเพื่อลดปัญหาค่าใช้จ่ายและการปล่อยมลพิษทางอากาศ

2.2.1.2. ศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Center)

ศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Center) เป็นหัวใจสำคัญของการขนส่งสินค้า (Food Network Solution, 2017) เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า อีกทั้งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การเคลื่อนย้ายสินค้าไปสู่ลูกค้าได้อย่างทันเวลาและเกิดประสิทธิผลตรงตามความต้องการของผู้ใช้บริการ โดยส่วนใหญ่จะทำหน้าที่รับสินค้าจากผู้ผลิตแต่ละรายมาเก็บไว้และกระจายสินค้าให้กับลูกค้าตามความต้องการ หรือส่งให้กับร้านค้ารายย่อยตามความถี่ของร้าน ทำให้ร้านค้าย่อยไม่จำเป็นต้องสั่งสินค้ามาครั้งละจำนวนมาก ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการเก็บสินค้าคงคลังลดลง โดยกิจกรรมของศูนย์กระจายสินค้า ประกอบด้วย

- การรับสินค้า (Receiving) เป็นการรับสินค้าที่ขนส่งมาจากผู้ผลิตเข้าสู่ศูนย์กระจายสินค้า
- การเบิกจ่ายสินค้า (Picking) เป็นการนำสินค้าออกจากศูนย์กระจายสินค้าเพื่อเตรียมจัดส่งให้กับลูกค้า โดยจะทำการออกใบเบิกสินค้า
- การจัดส่งสินค้า (Dispatching) เป็นการนำสินค้าขึ้นรถและจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าตามความต้องการ

การใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าจะช่วยลดต้นทุนในการจำหน่ายโดยการลดจำนวนสินค้าคงคลังมากเกินความจำเป็น ลดจำนวนคลังสินค้าที่ใช้เก็บสินค้า ลดระยะเวลาในการเก็บรักษาสินค้า ซึ่งศูนย์กระจายสินค้ามักตั้งอยู่ใกล้กับเส้นทางหลักของการขนส่งสินค้า (logisticafe.com, 2017)

2.2.1.3. การเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถ (Parking Charge)

การเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถ เป็นแนวทางหนึ่งที่ใช้แก้ปัญหาการจราจรติดขัดในเขตเมือง เพื่อเป็นการช่วยลดการใช้รถส่วนบุคคลเข้าสู่พื้นที่ในเขตเมือง และส่งเสริมให้ประชาชนใช้บริการการเดินทางด้วยประเภทอื่น ๆ มากขึ้น ซึ่งจากการทบทวนและรวบรวมข้อมูลค่าบริการพื้นที่จอดรถของสถานที่สำคัญ ๆ ภายในประเทศ (แสดงดังภาคผนวก ข) พบว่า การคิดค่าบริการพื้นที่จอดรถจะอยู่ที่ชั่วโมงละ 10 - 25 บาท การศึกษานี้จึงได้มีการเสนอนโยบายการคิดค่าบริการพื้นที่จอดรถ โดยคิดค่าบริการชั่วโมงละ 20 บาท

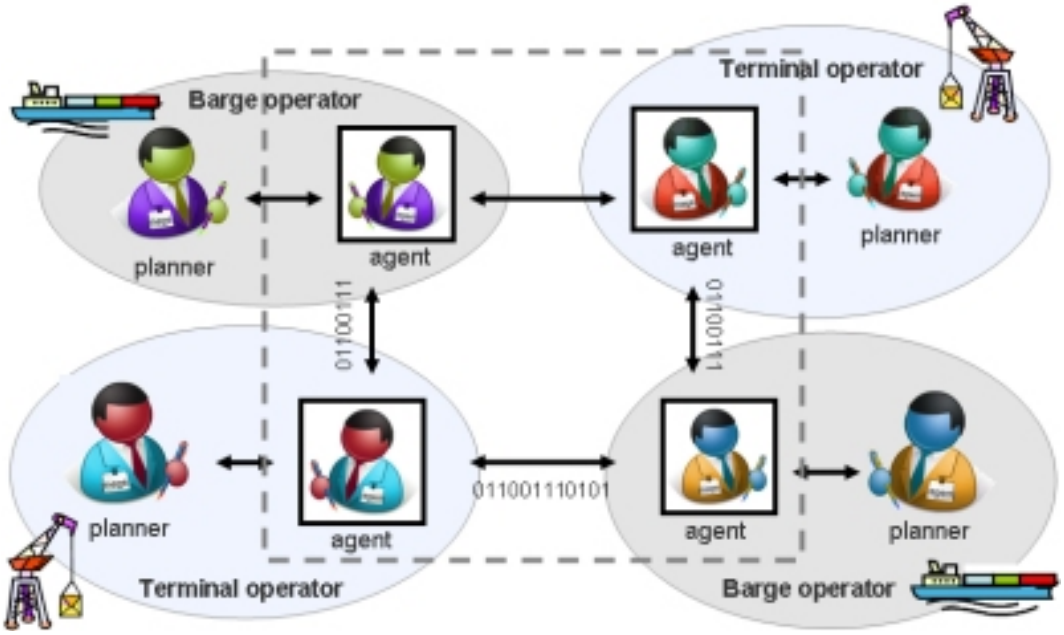
2.2.1.4. การเก็บค่าบริการค่าผ่านทาง (Road Pricing)

การเก็บค่าบริการค่าผ่านทาง เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยควบคุมจำนวนยานพาหนะที่จะเข้าสู่เขตเมือง ซึ่งจากการศึกษาการเก็บค่าบริการค่าผ่านทาง (แสดงดังภาคผนวก ค) พบว่า การบังคับใช้นโยบายการคิดค่าผ่านทางสามารถช่วยลดการจราจรที่แออัดบริเวณย่านการค้า ใจกลางเมืองได้ อีกทั้งยังสามารถช่วยลดจำนวนการเกิดอุบัติเหตุและปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศได้อีกด้วย โดยการเก็บค่าบริการค่าผ่านทางจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การเก็บค่าผ่านทางเพื่อการเดินทางที่

รวดเร็ว (Toll way) เป็นถนนที่จะอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ที่ต้องการจะเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้อย่างรวดเร็ว และ 2) การเก็บค่าผ่านทางเพื่อเข้าถึงพื้นที่ย่านธุรกิจ เพื่อลดการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลและเพิ่มการใช้รถสาธารณะ ซึ่งบริเวณที่ใช้นโยบายการคิดค่าผ่านทางเรียกว่า “Restricted Zone: RZ” ซึ่งในส่วนของการเก็บค่าผ่านทางเพื่อเข้าถึงพื้นที่ย่านธุรกิจนั้น สามารถช่วยแก้ปัญหาการจราจรที่หนาแน่นใจเขตเมืองรวมถึงช่วยลดปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศได้ด้วย การศึกษานี้จึงได้เสนอแผนนโยบายการคิดค่าผ่านทางในการเดินทางเข้าสู่ตลาดกิมหยง ซึ่งเป็นย่านการค้าใจกลางเมืองหาดใหญ่ เพื่อแก้ปัญหาการจราจรติดขัดและลดการปล่อยมลพิษทางอากาศ

2.2.2 แบบจำลองระบบหลายตัวแทน (Multi-Agent Systems : MAS)

ระบบหลายตัวแทน คือระบบที่ประกอบไปด้วยผู้ที่เกี่ยวข้องมากกว่าหนึ่งตัวแทน โดยมีพื้นฐานแนวคิดมาจากสาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์และวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้ที่เกี่ยวข้องภายในระบบจะต้องสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โดยที่เป้าหมายของผู้ที่เกี่ยวข้องหนึ่งสามารถทำให้เป้าหมายอีกผู้ที่เกี่ยวข้องหนึ่งบรรลุได้ และผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถตอบโต้กับสิ่งแวดล้อมได้ที่เป็นทั้งโลกความจริงและที่จำลองขึ้น โดยที่ตัวแทนภายในระบบจะทำหน้าที่ในส่วนที่ได้รับผิดชอบอย่างอิสระ ไม่ถูกควบคุมจากศูนย์กลางกระบวนการทำงานของตัวแทนแสดงได้ดังรูปที่ 2-2



ที่มา: http://nazamirazakaria.blogspot.com/2012_11_01_archive.html (2017)

รูปที่ 2-2 การทำงานของแบบจำลองระบบหลายตัวแทน

ตัวแทน (Agent) คือ ตัวแทนที่ได้รับมอบหมายให้ทำหน้าที่บางอย่าง โดยมีโครงสร้างพื้นฐาน 2 ส่วนหลัก คือ 1) ส่วนที่มีการรับรู้และมีการตอบสนองกับสภาพแวดล้อมภายนอก และ 2) เป็นส่วนควบคุมการทำงานของตัวแทน ซึ่งคุณสมบัติของตัวแทนประกอบด้วย 1) อัตโนมัติ ตัวแทนจะต้องสามารถดำเนินการและควบคุมพฤติกรรมได้ด้วยตัวของตัวแทนเอง 2) ความสามารถในการติดต่อสื่อสาร ตัวแทนจะต้องสามารถและเปลี่ยนข้อมูลกับตัวแทนอื่น ๆ ได้ 3) ความสามารถในการโต้ตอบ ตัวแทนจะต้องสามารถโต้ตอบกับสิ่งแวดล้อมได้ทั้งที่เป็นโลกความจริงและโลกที่จำลองขึ้น และ 4) ตัวแทนจะต้องมีความสามารถในการปรับปรุงตัวเอง ซึ่งตัวแทนจะต้องมีความสามารถในการปรับตัวตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป โดยตัวแทนจะทำงานโดยการรับข้อมูลจากสภาพแวดล้อมภายนอกและสามารถตอบสนองกลับด้วยการกระทำไปยังสภาพแวดล้อมภายนอกได้ อีกทั้งยังสามารถนำเอาข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้รับจากสภาพแวดล้อมภายนอกมาประมวลผลแล้วให้ผลลัพธ์เพื่อตอบสนองกลับไปยังสภาพแวดล้อมภายนอกได้ (ชัยวัฒน์ ลือใจ, 2014)

2.2.3 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง เป็นการพิจารณาจัดเส้นทางที่เหมาะสมตามศักยภาพของรถบรรทุกว่าควรจะบรรทุกสินค้าจำนวนเท่าไหร่ รถบรรทุกคันนั้นจะไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าใดบ้าง และใช้เส้นทางใดในการขนส่งสินค้า โดยที่เกิดค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยที่

กำหนดว่ามีเซตของลูกค้า $N=\{1,2,\ldots,n\}$ ซึ่งกระจายอยู่ตามพิกัดต่าง ๆ และมีระยะทางระหว่างเมือง i ไป j เท่ากับ d_{ij} หรือเวลาที่ใช้ในการเดินทาง t_{ij} เมื่อ i และ j อยู่ในเซต N และ $i \neq j$ ถ้า $d_{ij}=d_{ij}$ จะเรียกว่าปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบสมมาตร หาก $d_{ij} \neq d_{ji}$ จะเรียกว่าปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบไม่สมมาตร นอกจากนี้ กำหนดให้ q_i เป็นปริมาณความต้องการ ของลูกค้า i เมื่อ $i=1,2,\ldots,N$ และ $i=0$ เมื่อ i เป็นศูนย์กระจายสินค้าหรือจุดส่งสินค้า

รถบรรทุกจะเดินทางออกจากเมือง o หรือศูนย์กระจายสินค้า เดินทางไปรับสินค้าหรือส่งสินค้าตามจุด i และสิ้นสุดการเดินทางที่จุด o อีกครั้งหนึ่ง โดยรถบรรทุกแต่ละคันสามารถบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินความจุของตัวรถบรรทุก โดยกำหนดให้มีรถบรรทุกจำนวน V คัน เมื่อ $V=\{1,2,\ldots,V\}$ ซึ่งรถบรรทุกคันที่ k สามารถส่งสินค้าได้แตกต่างกันโดยกำหนดให้จำนวนที่สามารถส่งสินค้าได้มีค่าเป็น a_k สมมติให้ $R_k=\{r_k(1),\ldots,r_k(n_k)\}$ แทนเส้นทางที่มีการเดินทางของรถคันที่ K, $r_{k(j)}$ แทนเมืองที่ j ที่รถหรือเส้นทางที่ k เดินทางผ่าน n_k คือจำนวนเมืองที่มีการเดินทางผ่านโดยรถหรือเส้นทางที่ k และสมมุติให้ทุกเส้นทางจะต้องสิ้นสุดการเดินทางที่ศูนย์กระจายสินค้า o หรือ $r_{k(nk+1)}=0$

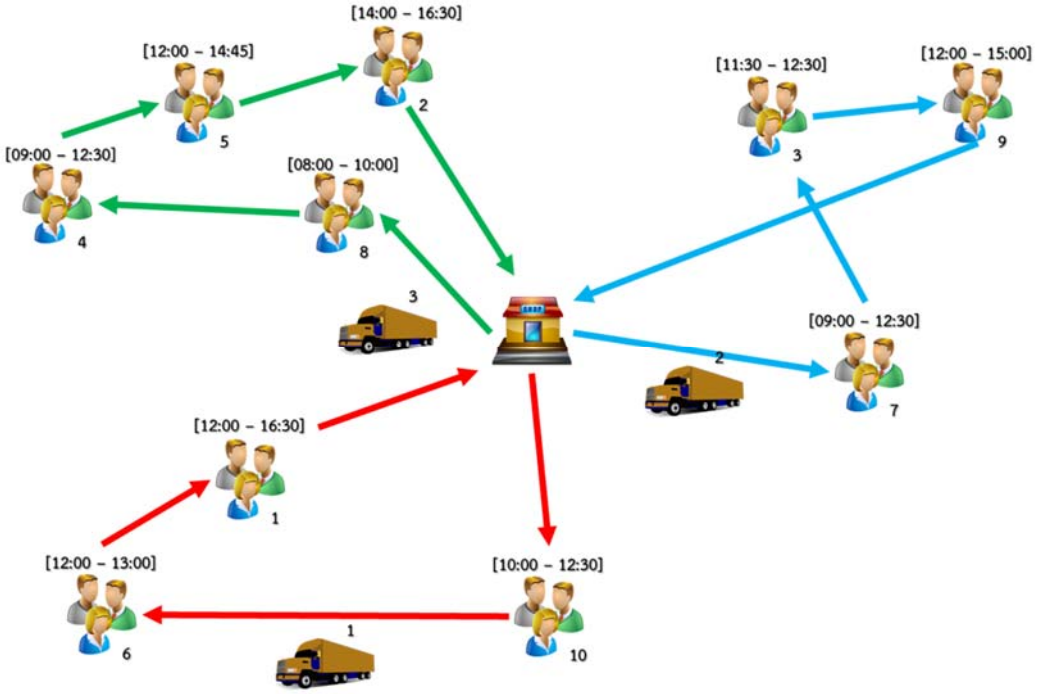
จากข้อมูลดังกล่าว สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Mingyong และ Erbao, 2010) ได้ดังแสดงตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 สมการในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง

สมการ	ขอบเขตตัวแปร	ลำดับสมการ
$\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=0}^{N}\sum_{i=0}^{N} d_{ij} X_{ij}^{k}$		(1)
$\sum_{i=1}^{N} X_{oj}^{k} \geq 1$	$k = 1 \ldots K$	(2)
$\sum_{i=0}^{N} X_{ip}^{k} - \sum_{j=0}^{N} X_{pj}^{k} = 0$	$p = 1 \ldots N$, $k = 1 \ldots K$	(3)
$\sum_{k=1}^{K} Y_{i}^{k} \geq 1$	$i = 1 \ldots N$	(4)
$\sum_{i=1}^{N} q_i Y_{i}^{k} \leq a_k$	$k = 1 \ldots K$	(5)
$Y_{i}^{k} \leq \sum_{i=0}^{N} X_{ji}^{k}$	$i = 1 \ldots N$, $k = 1 \ldots K$	(6)
$\sum_{k=1}^{K}\sum_{i=0}^{N} X_{ij}^{k} \geq 1$	$j = 1 \ldots N$	(7)
$U_{i}^{k} \geq U_{j}^{k} + q_i - a_k + \left(a_k * \left(X_{ij}^{k} + X_{ij}^{k}\right)\right) - X_{ij}^{k}\left(q_i + q_i\right)$	$k = 1 \ldots K$, $i = 0 \ldots N$ $j = 1 \ldots N$ เมื่อ $i \neq j$	(8)
$U_{i}^{k} \leq a_k - X_{oi}^{k}\left(a_k - q_i\right)$	$k = 1 \ldots K$, $i = 1 \ldots N$	(9)
$U_{i}^{k} \leq q_i + \sum_{i=1}^{N} q_j X_{ji}^{k}$	$k = 1 \ldots K$, $i = 1 \ldots N$	(10)

สมการที่ (1) แสดงต้นทุนการเดินทางจากเมือง i ไปเมือง j โดยรถบรรทุก k สมการที่ (2) เป็นการประกันว่า รถบรรทุก k จะเดินทางออกจากศูนย์กระจายสินค้า o และเดินทางไปยังลูกค้า j อย่างน้อย 1 ราย สมการที่ (3) เป็นสมการที่รับประกันว่าลูกค้ารายหนึ่ง ๆ จะมีรถบรรทุกเดินทางเข้าและออกเท่ากัน สมการที่ (4) เป็นการรับประกันว่าลูกค้าจะมีรถบรรทุกมาส่งสินค้าอย่างน้อย 1 คัน สมการที่ (5) เป็นการประกันว่ารถบรรทุกจะขนส่งสินค้าได้ไม่เกินศักยภาพการบรรทุกสินค้าของรถบรรทุก สมการ (6) รับประกันว่ารถบรรทุกจะส่งสินค้ากับลูกค้า i ได้ก็ต่อเมื่อรถบรรทุก k เดินทางผ่านลูกค้า i จากเส้นทางของลูกค้า j รายใดรายหนึ่งเท่านั้น และสมการ (7) รับประกันว่าลูกค้า j ใด ๆ จะมีรถบรรทุกมาส่งสินค้า อย่างน้อย 1 ครั้งโดยใช้เส้นทางที่ผ่านมาจากลูกค้า i สมการที่ 8 ถึง 10 เป็นสมการเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการส่งสินค้าซ้ำซ้อน

ตัวอย่างการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2-3 ซึ่งเป็นการจัดเส้นทางโดยที่รถบรรทุกสินค้าจะออกจากศูนย์กระจายสินค้าและทำการส่งสินค้าให้กับลูกค้า เมื่อครบแล้วรถบรรทุกก็จะวนกลับมารับสินค้าใหม่ที่ศูนย์กระจายสินค้าเพื่อนำไปส่งให้กับลูกค้ารายอื่นต่อไป

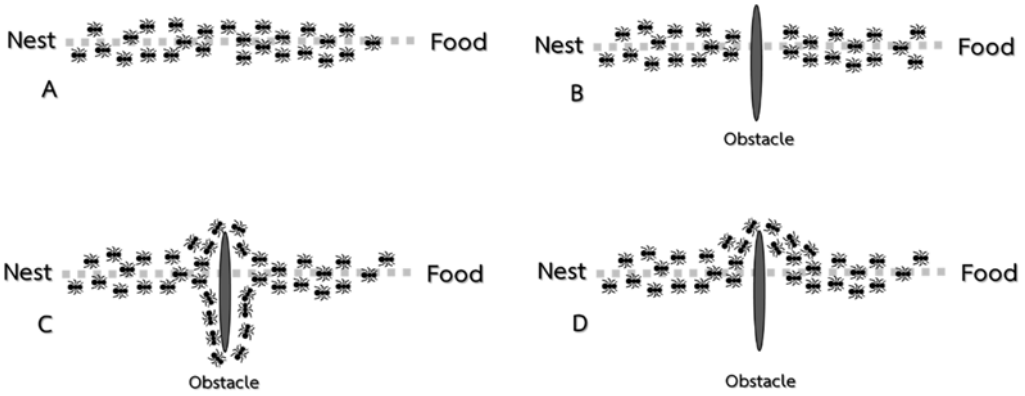


ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 2-3 ตัวอย่างการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า

2.2.3.1. วิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization : ACO)

วิธีอาณานิคมมดเป็นการศึกษาธรรมชาติของมดที่ใช้ร่องรอยจากสารเคมีที่เรียกว่า “ฟีโรโมน” เพื่อหาหาเส้นทางในการเดินทางไปยังแหล่งอาหารที่สั้นที่สุด โดยพิจารณาจากความเข้มข้นของสารฟีโรโมน ซึ่งหากเส้นทางใดมีความเข้มข้นของสารฟีโรโมนอยู่มากก็จะเป็นเส้นทางที่มีระยะทางไปยังแหล่งอาหารที่ใกล้ที่สุด ลักษณะการเดินทางไปยังแหล่งอาหารของมดแสดงได้ดังรูปที่ 2-4



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 2-4 ลักษณะการเดินทางไปยังแหล่งอาหารของมด

ซึ่งการประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมมดกับการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้านั้น กระทำโดยการกำหนดค่าเริ่มต้นที่เกี่ยวข้องกับวิธีอาณานิคมมดทั้งหมด ประกอบด้วย จำนวนรอบที่ต้องการวนซ้ำ จำนวนประชากรมด ค่าฟีโรโมนเริ่มต้น อัตราการระเหยของค่าฟีโรโมน จากนั้นกำหนดให้มดอยู่ที่เมือง i และให้มดทำการเลือกตำแหน่งเมืองที่ต้องการเดินทางไป โดยแทนด้วย j จากนั้นทำการเลือกเมืองต่อไปจากค่าฟีโรโมนที่สูงที่สุด (ฐิตินนท์ ศรีสุวรรณดี และ ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, 2012)

2.2.4 การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning)

การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning) เป็นการเรียนรู้ค่าการกระทำที่ทำให้เกิดประโยชน์ตามที่ต้องการ เมื่อมีการทำให้เกิดการกระทำตามนโยบายที่กำหนด จุดเด่นของการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง คือ สามารถเปรียบเทียบประโยชน์ที่ต้องการของการกระทำที่มีอยู่โดยปราศจากรูปแบบของสภาพแวดล้อม (Strehl และ คณะ, 2006) ซึ่งสมการในการเรียนรู้สามารถแสดงได้ในสมการที่ 11

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow (1-\alpha)Q(s_t, a_t) + \alpha\left[r_{s_t,a_t} + \gamma \min Q(s_{t+1}, a_{t+1})\right] \quad (11)$$

โดยที่

$Q(s_t, a_t)$ คือ ค่าการกระทำที่เวลา t

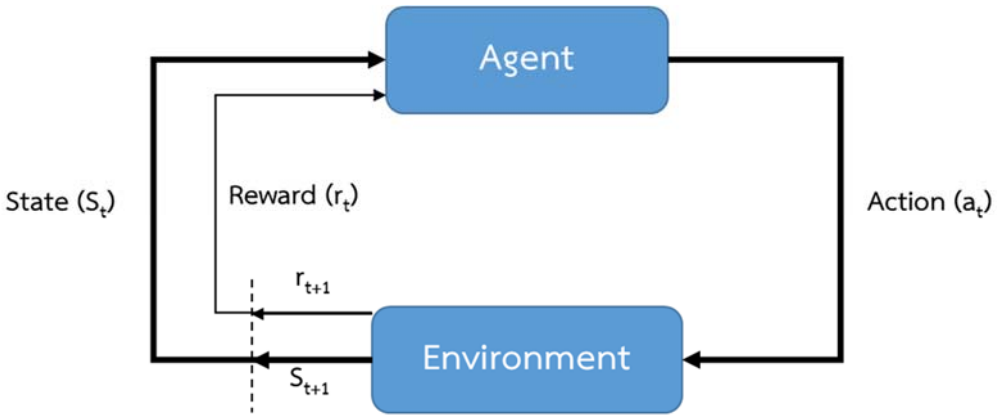
$Q(s_{t+1}, a_{t+1})$ คือ ค่าการกระทำที่เวลา $t+1$

γ คือ อัตราการลดของตัวแทน $(0 < \gamma < 1)$

α คือ อัตราการเรียนรู้ของตัวแทน $(0 < \alpha < 1)$

r_{s_t,a_t} คือ รางวัลที่ได้รับทันทีหลังจากเกิดการกระทำที่เวลา t

และอัตราการเรียนรู้ของตัวแทนเท่ากับ 1 หมายถึง ตัวแทนจะพิจารณาข้อมูลที่เป็นปัจจุบันมากที่สุด หากเท่ากับ 0 หมายถึง ตัวแทนไม่เกิดการเรียนรู้ ส่วนอัตราการลดของตัวแทนเท่ากับ 1 หมายถึง ตัวแทนจะพิจารณารางวัลในระยะยาว ส่วนถ้าเท่ากับ 0 หมายถึง ตัวแทนจะเกี่ยวข้องกับรางวัลปัจจุบันอย่างเดียว



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 2-5 กระบวนการการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง

2.2.5 การวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศ (Air Pollution)

สำหรับสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศ ซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และปริมาณฝุ่นละออง (Suspended Particulate Matter : (SPM)) โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (12) (13) และ(14) ตามลำดับ ซึ่งในการพิจารณานั้นจะพิจารณาปริมาณการปล่อยจากระยะทางและความเร็วของรถที่ใช้ในการเดินทาง (NILIM, 2003) โดยสมมติให้รถบรรทุกใช้น้ำมันดีเซล

$$\mathrm{NO_x} = \mathrm{l_{ij}}\left(1.06116 + 0.000213\mathrm{v_{ij}^2} - 0.0246\mathrm{v_{ij}} + \frac{16.258}{\mathrm{v_{ij}}}\right) \quad (12)$$

$$\mathrm{CO_2} = \mathrm{l_{ij}}\left(278.448 + 0.048059\mathrm{v_{ij}^2} - 5.1227\mathrm{v_{ij}} + \frac{2347.1}{\mathrm{v_{ij}}}\right) \quad (13)$$

$$\mathrm{SPM} = \mathrm{l_{ij}}\left(0.03442 - 0.000039391\mathrm{v_{ij}^2} + 0.0036777\mathrm{v_{ij}} + \frac{1.2754}{\mathrm{v_{ij}}}\right) \quad (14)$$

โดยที่

$\mathrm{NO_x}$ คือ ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อยมีหน่วยเป็นกรัม

$\mathrm{CO_2}$ คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยมีหน่วยเป็นกรัม

SPM คือ ปริมาณฝุ่นละอองที่ปล่อยมีหน่วยเป็นกรัม

$\mathrm{l_{ij}}$ คือ ระยะทางการเดินทางจากจุด i ไปจุด j มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

$\mathrm{v_{ij}}$ คือ ความเร็วของรถที่ใช้เดินทางจากจุด i ไปจุด j มีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง

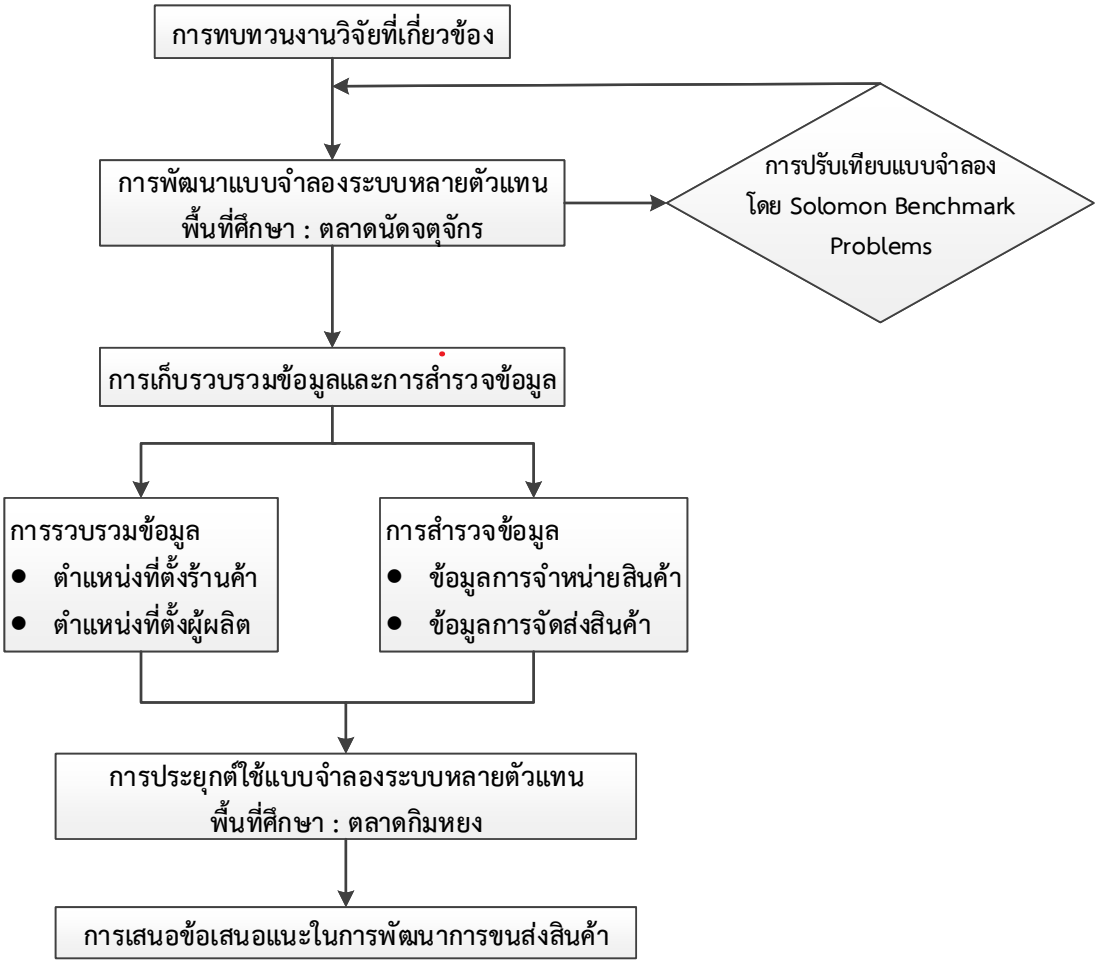
บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 กรอบการดำเนินงานวิจัย

เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา ผู้วิจัยจึงได้สรุปขั้นตอนของงานวิจัย โดยจำแนกออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก (แสดงดังรูปที่ 3-1) ประกอบด้วย

- การทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- การพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทน
- การปรับเทียบแบบจำลองระบบหลายตัวแทน
- การเก็บรวบรวมข้อมูลและการสำรวจข้อมูล
- การประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบหลายตัวแทน
- การเสนอข้อเสนอแนะในการพัฒนาการขนส่งสินค้า

โดยขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย และรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนในงานวิจัยแสดงในหัวข้อลำดับถัดไป



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 3-1 กรอบการดำเนินงานวิจัย

3.2 การทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้น ทางผู้วิจัยได้ทบทวนงานวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ประกอบด้วย

1) การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองระบบหลายตัวแทน (Multi-Agent Systems : MAS)
- งานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problems : VRP)
- งานวิจัยเกี่ยวกับการขนส่งในเขตเมือง (City Logistics)

2) การทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

- การขนส่งสินค้าในเขตเมือง (City Logistics)
- แบบจำลองระบบหลายตัวแทน (Multi-Agent Systems : MAS)
- ปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problems : VRP)
- การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning)
- การวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศ (Air Pollution)

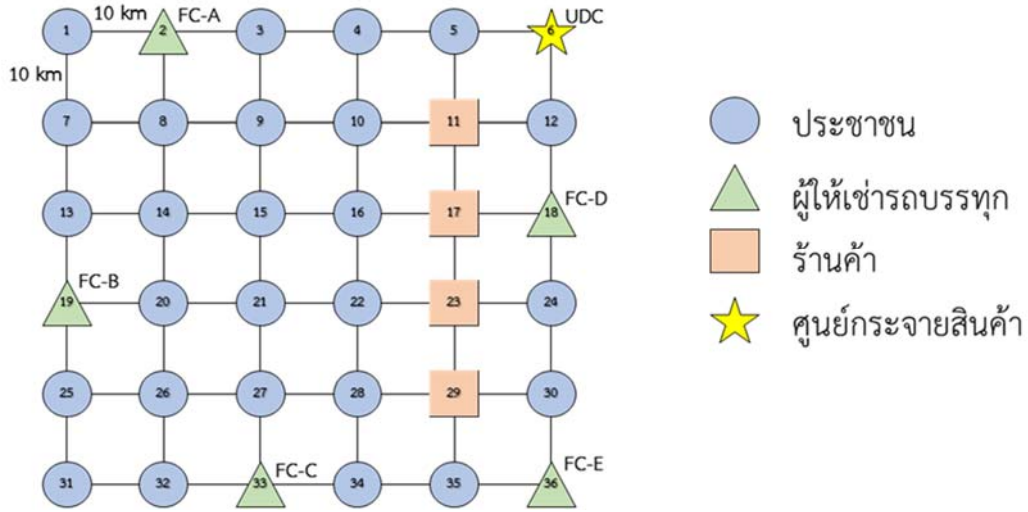
ผู้วิจัยทำการศึกษาเพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองระบบหลายตัวแทน และวิธีการวิเคราะห์เพื่อหาวิธีการจัดการเส้นทางในการขนส่งสินค้าเพื่อให้การวิเคราะห์ผลจากแบบจำลองมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 2

3.3 การพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทน

สำหรับการพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทน ทางผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทน โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย

1) ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทน

สำหรับการพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทน ทางผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทน โดยการสร้างโครงข่ายถนนประกอบด้วย ผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกจำนวน 5 ราย ร้านค้าจำนวน 4 ราย ประชาชนทั่วไปจำนวน 29 ราย และศูนย์กระจายสินค้าจำนวน 1 ราย ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-2



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 3-2 โครงข่ายถนนในการพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทน

สำหรับการพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทน มีข้อกำหนดเบื้องต้นของแบบจำลอง ประกอบด้วย 1) เวลาในการให้บริการขนส่งสินค้าตั้งแต่ 08:00 – 20:00 น. 2) ความจุของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งสินค้า คือ 200 กล่อง 3) อัตราค่าใช้บริการของศูนย์กระจายสินค้า คือ 10 บาทต่อกล่อง 4) อัตราค่าบริการพื้นที่จอดรถ คือ 20 บาทต่อชั่วโมง และ 5) อัตราค่าผ่านทางในการขนส่งสินค้า คือ 10 บาทต่อ 100 กิโลเมตร

2) ขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลองระบบหลายตัวแทน

การปรับเทียบแบบจำลองระบบหลายตัวแทน ทางผู้วิจัยได้นำข้อมูลจาก Solomon Benchmark Problem (Solomon, 2017) มาใช้กับแบบจำลองระบบหลายตัวแทนที่พัฒนาขึ้นเพื่อเปรียบเทียบผลต่างของระยะทางและจำนวนยานพาหนะที่ได้จากแบบจำลองระหว่างผลเฉลยของ Solomon Benchmark Problem กับ ผลที่ได้จากแบบจำลองระบบหลายตัวแทนที่พัฒนาขึ้น โดยได้เปรียบเทียบรูปแบบตำแหน่งของลูกค้า 3 รูปแบบ ประกอบด้วย 1) รูปแบบตำแหน่งลูกค้าแบบกระจายกัน 2) รูปแบบตำแหน่งลูกค้าแบบเกาะกลุ่มกัน และ 3) รูปแบบตำแหน่งลูกค้าแบบกระจายและเกาะกลุ่มกัน ซึ่งรายละเอียดแสดงในบทที่ 4

3) ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลอง

การประยุกต์ใช้แบบจำลองได้นำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นและปรับเทียบกับ Solomon Benchmark Problem มาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ตลาดกิมหยงโดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ประกอบการร้านค้าในตลาดกิมหยง

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลและการสำรวจข้อมูล

การเก็บรวบรวมและสำรวจข้อมูล ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจข้อมูลจากผู้ประกอบการร้านค้าในตลาดกิมหยง จำนวน 120 ร้านจากทั้งหมด 297 ร้าน โดยทำการสำรวจข้อมูล ประเภทสินค้าที่จำหน่าย ประเภทยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้า ความถี่ในการขนส่งสินค้า ปริมาณสินค้าที่สั่งในแต่ละครั้ง ช่วงเวลาในการขนส่งสินค้า ระยะเวลาที่ใช้ในการขนย้ายสินค้า และตำแหน่งต้นทางในการขนส่งสินค้ามายังตลาดกิมหยง โดยรายละเอียดแบบฟอร์มสำรวจข้อมูลแสดงดังภาคผนวก ก

3.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบหลายตัวแทน

สำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบหลายตัวแทนนั้น ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบหลายตัวแทนที่พัฒนาขึ้นและนำข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งของร้านค้าบริเวณตลาดกิมหยง ตำแหน่งที่ตั้งของผู้ผลิตสินค้า ข้อมูลการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังตลาดกิมหยง ข้อมูลการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้า ข้อมูลปริมาณการจำหน่ายสินค้าของร้านค้าภายในตลาดกิมหยง ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจข้อมูลใส่เข้าไปในแบบจำลองระบบหลายตัวแทน และทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย จำนวนยานพาหนะ ปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศ ระยะทาง และความสามารถในการบรรทุกของรถบรรทุก เมื่อมีการเพิ่มแผนนโยบายการขนส่งสินค้าไปยังตลาดกิมหยง สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาแผนนโยบายจำนวน 3 นโยบาย ประกอบด้วย

1) นโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า
2) นโยบายการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถในการขนส่งสินค้า
3) นโยบายการเก็บค่าผ่านทางในการขนส่งสินค้า

3.6 สรุปผลการศึกษาและเสนอข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยจะนำผลสรุปที่ได้จากการสำรวจข้อมูลและการประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบหลายตัวแทนมาเป็นข้อเสนอแนะ และเป็นแนวทางเพื่อลดค่าใช้จ่ายและการปล่อยมลพิษทางอากาศจากการขนส่งสินค้าไปยังตลาดกิมหยง

บทที่ 4
ผลการศึกษาการพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทน

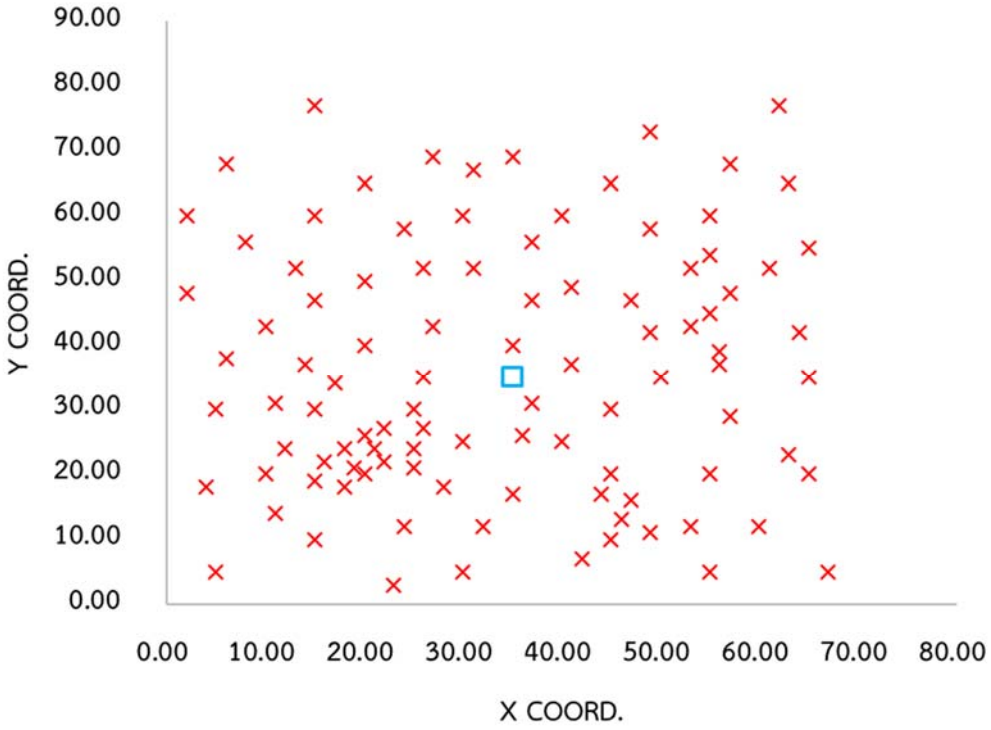
4.1 การปรับเทียบแบบจำลองระบบหลายตัวแทน

ในการปรับเทียบแบบจำลองระบบหลายตัวแทนนั้น การศึกษานี้ได้ใช้โจทย์ Solomon benchmark problems (Solomon, 2017) ซึ่งโจทย์ Solomon benchmark problems จะประกอบด้วยตำแหน่งลูกค้าจำนวน 100 ตำแหน่ง และตำแหน่งร้านค้า 1 ตำแหน่ง โดยโจทย์ Solomon benchmark problems จะมีลักษณะการจัดกลุ่มตำแหน่งลูกค้าโดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ประกอบด้วย

1) ประเภท R1 จะแสดงตำแหน่งลูกค้าแบบกระจายกัน รายละเอียดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4-1

2) ประเภท C1 จะแสดงตำแหน่งลูกค้าแบบเกาะกลุ่มกัน รายละเอียดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4-2

3) ประเภท RC1 จะแสดงตำแหน่งลูกค้าแบบกระจายและเกาะกลุ่มกัน รายละเอียดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4-3

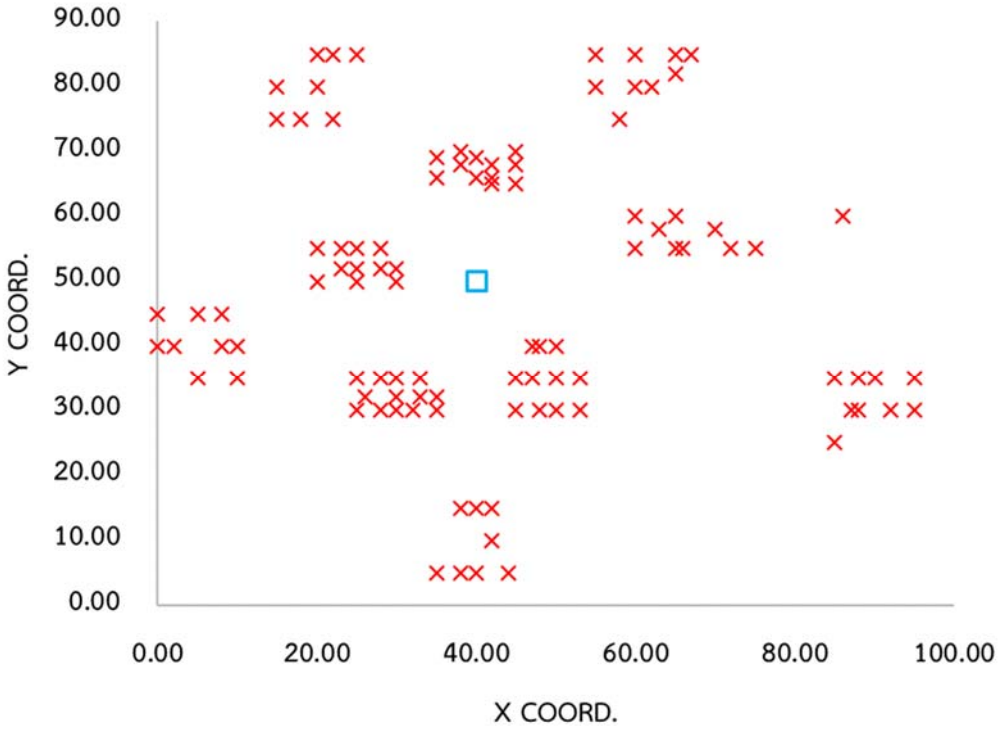


ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 4-1 ตำแหน่งลูกค้าประเภท R1

โดยที่

- สัญลักษณ์ □ แสดงตำแหน่งที่ตั้งร้านค้า
- สัญลักษณ์ × แสดงตำแหน่งที่ตั้งลูกค้า

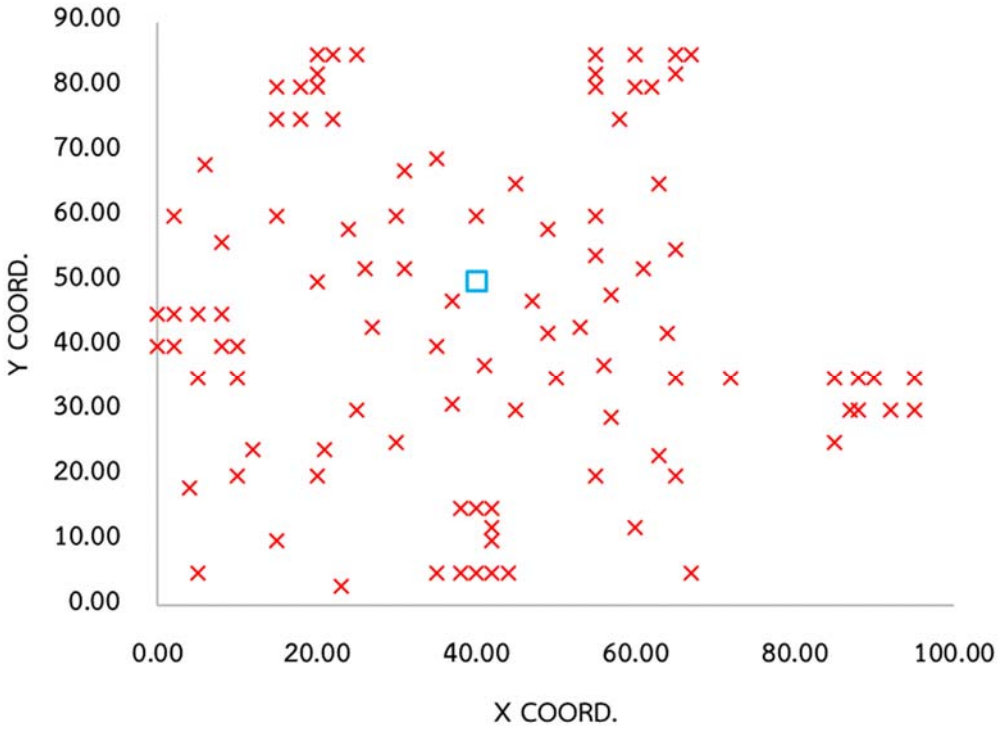


ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 4-2 ตำแหน่งลูกค้าประเภท C1

โดยที่

- สัญลักษณ์ □ แสดงตำแหน่งที่ตั้งร้านค้า
- สัญลักษณ์ × แสดงตำแหน่งที่ตั้งลูกค้า



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 4-3 ตำแหน่งที่ตั้งลูกค้าประเภท RC1

โดยที่

- สัญลักษณ์ □ แสดงตำแหน่งที่ตั้งร้านค้า
- สัญลักษณ์ × แสดงตำแหน่งที่ตั้งลูกค้า

ผลที่ได้จากการนำค่าปัจจัยต่าง ๆ จาก Solomon benchmark problems ทดสอบบนแบบจำลองระบบหลายตัวแทนที่ผู้วิจัยได้พัฒนา โดยพบว่าในปัญหาประเภท R1 ผลจากแบบจำลองระบบหลายตัวแทนใช้รถจำนวน 18 คัน ระยะทางรวม 1,750 กิโลเมตร ผลจาก Solomons benchmark problems ใช้รถจำนวน 19 คัน ระยะทางรวม 1,645.79 กิโลเมตร ซึ่งแตกต่างกัน 6.33% ในปัญหาประเภท C1 ผลจากแบบจำลองระบบหลายตัวแทนใช้รถจำนวน 12 คัน ระยะทางรวม 807 กิโลเมตร ผลจาก Solomons benchmark problems ใช้รถจำนวน 10 คัน ระยะทางรวม 828.94 กิโลเมตร แตกต่างกัน 2.65% และในประเภทปัญหา RC1 ผลจากแบบจำลองระบบหลายตัวแทนใช้รถจำนวน 15 คัน ระยะทางรวม 1,660 กิโลเมตร ผลจาก Solomons benchmark problems ใช้รถจำนวน 14 คัน ระยะทางรวม 1,696.94 กิโลเมตร แตกต่างกัน 2.18% ซึ่งสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบจากแบบจำลองระบบหลายตัวแทนกับ Solomon benchmark problems ได้ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบคำตอบจากแบบจำลองระบบหลายตัวแทน และ Solomon benchmark problems

ประเภทปัญหา	ผลจากแบบจำลอง		ผลจาก Solomon benchmark problem		ความแตกต่าง (%)
	จำนวนรถ (คัน)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนรถ (คัน)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	
R101	18	1,750.00	19	1,645.79	6.33
C101	12	807.00	10	828.94	2.65
RC101	15	1,660.00	14	1,696.94	2.18

จากผลการปรับเทียบแบบจำลองระบบหลายตัวแทน ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความใกล้เคียงกันกับผลที่ได้จาก Solomon benchmark problem โดยมีค่าความแตกต่างของผลลัพธ์น้อยกว่า 10% จึงสามารถนำแบบจำลองระบบหลายตัวแทนที่ได้จากการพัฒนาไปใช้ในการประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมและสำรวจข้อมูลจากผู้ประกอบการร้านค้าในตลาดกิมหยง

4.2 การเก็บรวบรวมและสำรวจข้อมูล

การเก็บรวบรวมและสำรวจข้อมูล ทางผู้วิจัยได้ทำการสำรวจข้อมูลจากผู้ประกอบการร้านค้าในตลาดกิมหยงจำนวน 120 ร้าน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลองระบบหลายตัวแทนที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น ซึ่งลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 4-2

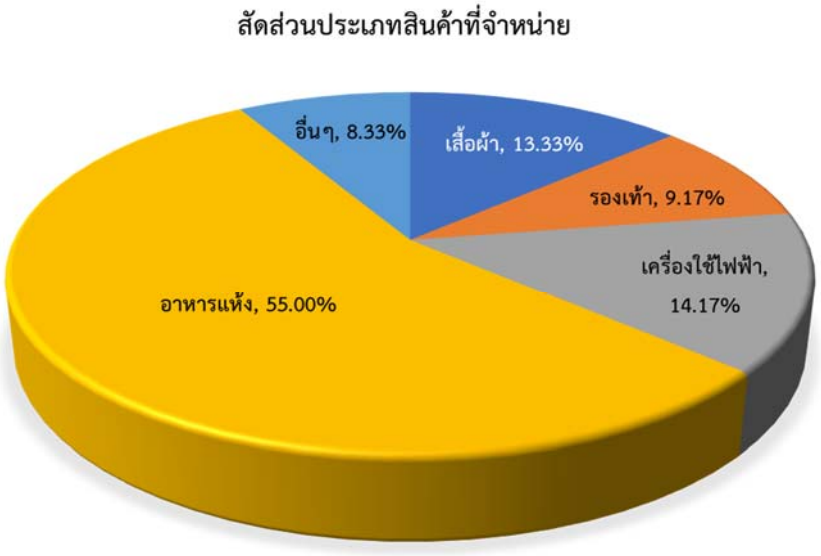
ตารางที่ 4-2 ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ลักษณะ	จำนวน (ร้าน)	คิดเป็นร้อยละ
ประเภทสินค้าที่จำหน่าย		
● เสื้อผ้า	16	13.33
● รองเท้า	11	9.17
● เครื่องใช้ไฟฟ้า	17	14.17
● อาหารแห้ง	66	55.00
● อื่น ๆ	10	8.33
ประเภทยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้า		
● รถสามล้อพ่วง	4	3.33
● รถจักรยานยนต์	5	4.17
● รถกระบะ	107	89.17
● รถบรรทุก 6 ล้อ	1	0.83
● รถบรรทุก 10 ล้อ	1	0.83
● อื่น ๆ	2	1.67
ความถี่ในการขนส่งสินค้า		
● 1 – 2 ครั้ง/สัปดาห์	43	35.83
● 3 – 4 ครั้ง/สัปดาห์	23	19.17
● 5 – 8 ครั้ง/สัปดาห์	8	6.67
● ใช้บริการทุกวัน	16	13.33
● เดือนละครั้ง	30	25

ตารางที่ 4-2 ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง (ต่อ)

ลักษณะ	จำนวน (ร้าน)	คิดเป็นร้อยละ
ปริมาณสินค้าที่สั่งในแต่ละครั้ง		
● 1 – 5 ลัง	12	10.00
● 6 – 10 ลัง	13	10.83
● 11 – 15 ลัง	14	11.67
● 16 – 20 ลัง	46	38.33
● 21 – 25 ลัง	35	29.17
ช่วงเวลาในการขนส่งสินค้า		
● 10:00 – 12:00 น.	13	10.83
● 12:00 – 14:00 น.	21	17.50
● 14:00 – 16:00 น.	50	41.67
● 16:00 – 18:00 น.	36	30.00
ระยะเวลาที่ใช้ในการขนย้ายสินค้า		
● 6 – 10 นาที	6	5.00
● 11 – 15 นาที	14	11.67
● 16 – 20 นาที	28	23.33
● 21 – 25 นาที	32	26.67
● 26 – 30 นาที	40	33.33
ตำแหน่งต้นทางในการขนส่งสินค้า		
● กรุงเทพมหานคร	47	39.17
● อำเภอหาดใหญ่	17	14.17
● อำเภอปาดังเบซาร์	56	46.67

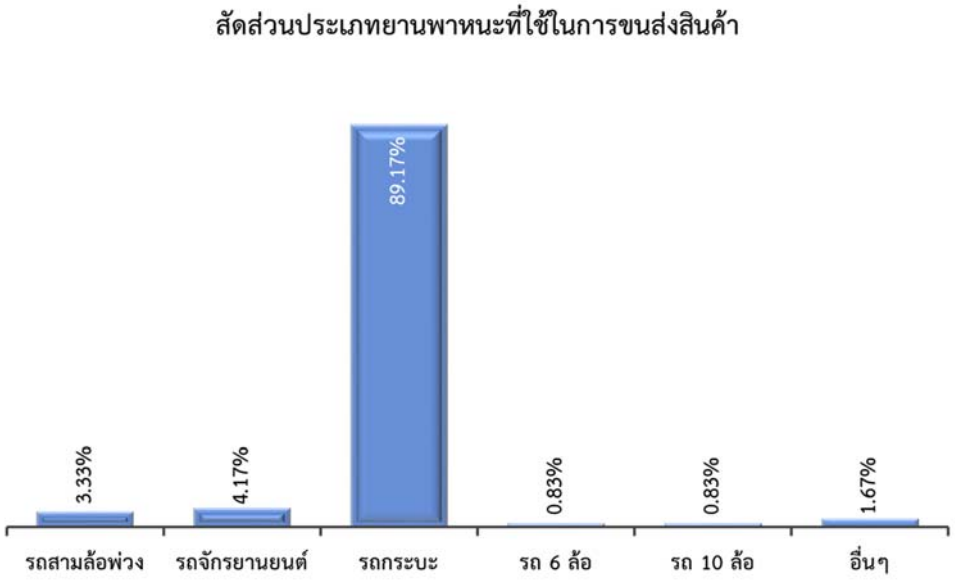
จากการสำรวจข้อมูลผู้ประกอบการร้านค้าในตลาดกิมหยง พบว่า สัดส่วนประเภทสินค้าที่จำหน่ายในตลาดกิมหยงจากกลุ่มตัวอย่างประชากรเป็นประเภทอาหารแห้ง คิดเป็นร้อยละ 55.00 รองลงมาเป็นประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 14.17 เป็นประเภทเสื้อผ้า รองเท้า และประเภทอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 13.33, 9.17 และ 8.33 ตามลำดับ สามารถแสดงสัดส่วนประเภทสินค้าที่จำหน่ายได้ดังรูปที่ 4-4



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 4-4 สัดส่วนประเภทสินค้าที่จำหน่ายของกลุ่มตัวอย่าง

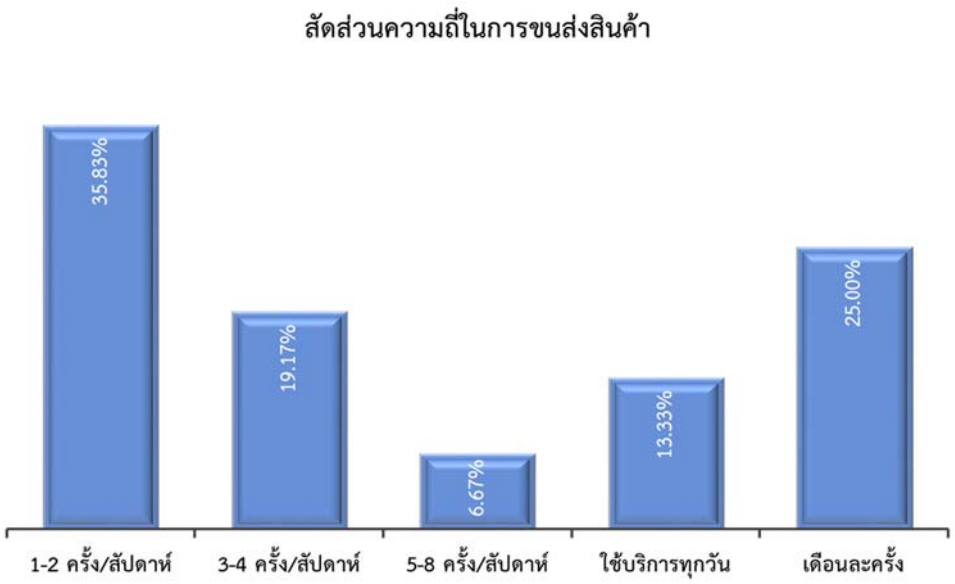
สำหรับสัดส่วนประเภทยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าจากต้นทางมาตลาดกิมหยงนั้น มากที่สุดเป็นการขนส่งด้วยรถกระบะ คิดเป็นร้อยละ 89.17 รองลงมาเป็นรถจักรยานยนต์ คิดเป็นร้อยละ 4.17 และรถสามล้อพ่วง รถ 6 ล้อ รถ 10 ล้อ และยานพาหนะประเภทอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 3.33, 0.83, 0.83 และ 1.67 ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงสัดส่วนประเภทยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าได้ดังรูปที่ 4-5



ที่มา: ผู้วิจัย

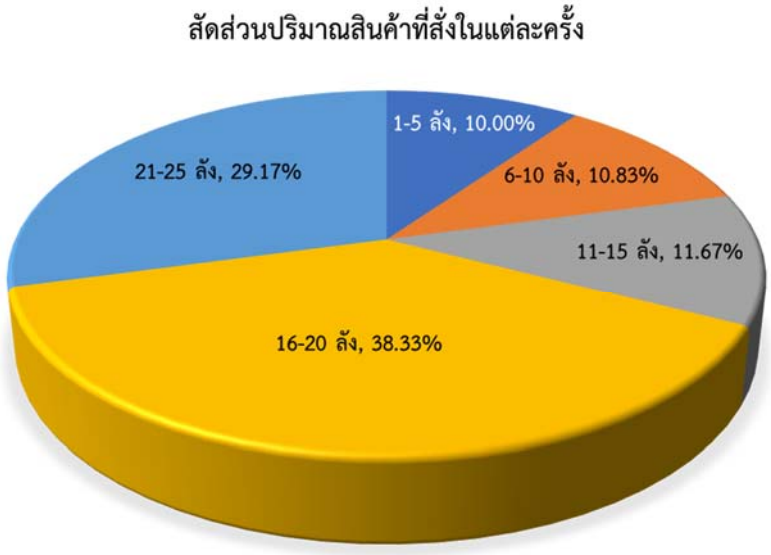
รูปที่ 4-5 สัดส่วนประเภทยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าของกลุ่มตัวอย่าง

สำหรับสัดส่วนความถี่ในการขนส่งสินค้าจากต้นทางมาสู่ตลาดกิมหยง พบว่า สัดส่วนความถี่ในการขนส่งสินค้าที่มากที่สุดเป็นความถี่ 1 – 2 ครั้งต่อสัปดาห์ คิดเป็นร้อยละ 35.83 รองลงมาเป็นความถี่เดือนละครั้ง คิดเป็นร้อยละ 25.00 ส่วนความถี่ 3 – 4 ครั้งต่อสัปดาห์ ความถี่ 5 – 8 ครั้งต่อสัปดาห์ และใช้บริการทุกวัน คิดเป็นร้อยละ 19.17, 6.67 และ 13.33 ตามลำดับ ส่วนสัดส่วนปริมาณสินค้าในการขนส่งแต่ละครั้งที่มากที่สุดจะอยู่ที่ 16 – 20 ลัง คิดเป็นร้อยละ 38.33 รองลงมาจะเป็น 21 – 25 ลัง คิดเป็นร้อยละ 29.17 ส่วน ปริมาณ 1 – 5 ลัง 6 – 10 ลัง และ 11 – 15 ลัง คิดเป็นร้อยละ 10.00, 10.83 และ 11.67 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4-6 และ รูปที่ 4-7



ที่มา: ผู้วิจัย

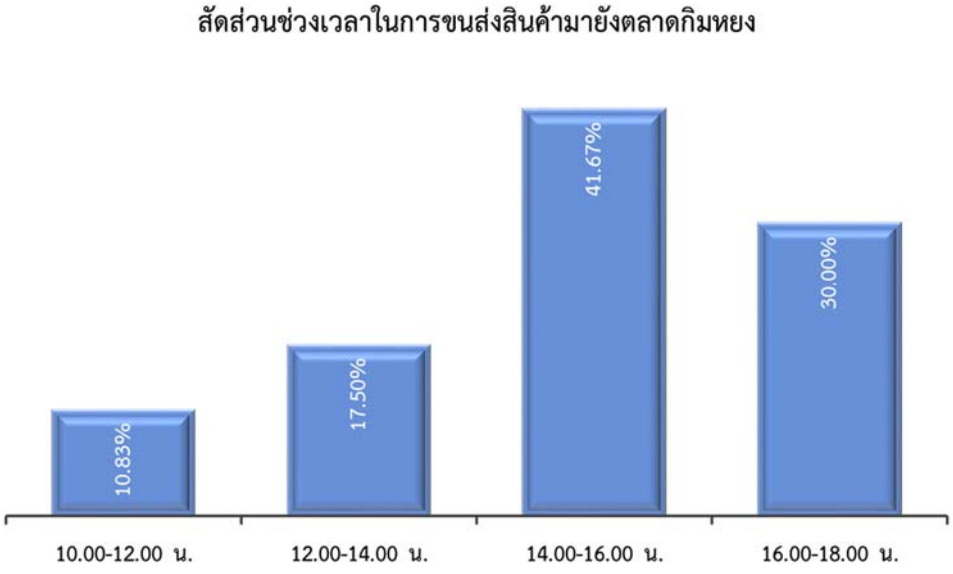
รูปที่ 4-6 สัดส่วนความถี่ในการขนส่งสินค้าของกลุ่มตัวอย่าง



ที่มา: ผู้วิจัย

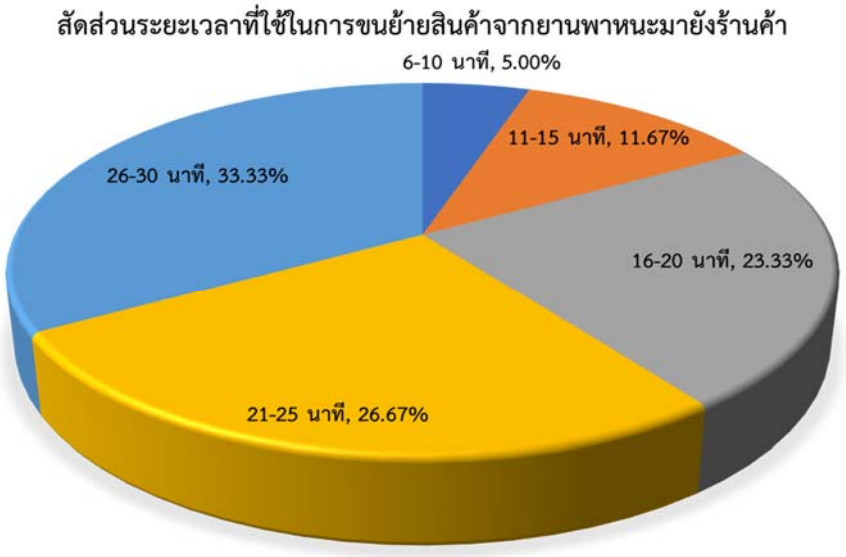
รูปที่ 4-7 สัดส่วนปริมาณสินค้าที่สั่งในแต่ละครั้งของกลุ่มตัวอย่าง

สำหรับสัดส่วนช่วงเวลาในการขนส่งสินค้าที่มากที่สุด คือ ช่วงเวลา 14.00 – 16.00 น. คิดเป็นร้อยละ 41.67 รองลงมาได้แก่ช่วงเวลา 16.00 – 18.00 น. คิดเป็นร้อยละ 30.00 ส่วนช่วงเวลา 10.00 – 12.00 น. และ ช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. คิดเป็นร้อยละ 10.83 และ 17.50 ตามลำดับ (แสดงดังรูปที่ 4-8) สำหรับสัดส่วนระยะเวลาที่ใช้ในการขนย้ายสินค้าจากยานพาหนะไปบริเวณร้านค้าที่มากที่สุด คือ ระยะเวลา 26 – 30 นาที คิดเป็นร้อยละ 33.33 รองลงมา คือ ระยะเวลา 21 – 25 นาที คิดเป็นร้อยละ 26.67 ส่วนระยะเวลา 6 – 10 นาที ระยะเวลา 11 – 15 นาที และระยะเวลา 16 – 20 นาที คิดเป็นร้อยละ 5.00, 11.67 และ 23.33 ตามลำดับ (แสดงดังรูปที่ 4-9) อีกทั้งสำหรับสัดส่วนพื้นที่ต้นทางในการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตมายังตลาดกิมหยงนั้น พื้นที่ที่มากที่สุด คือ พื้นที่ปาดังเบซาร์ คิดเป็นร้อยละ 46.67 รองลงมา คือ พื้นที่กรุงเทพมหานคร คิดเป็นร้อยละ 39.17 และพื้นที่ในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา คิดเป็นร้อยละ 14.17 (แสดงดังรูปที่ 4-10)



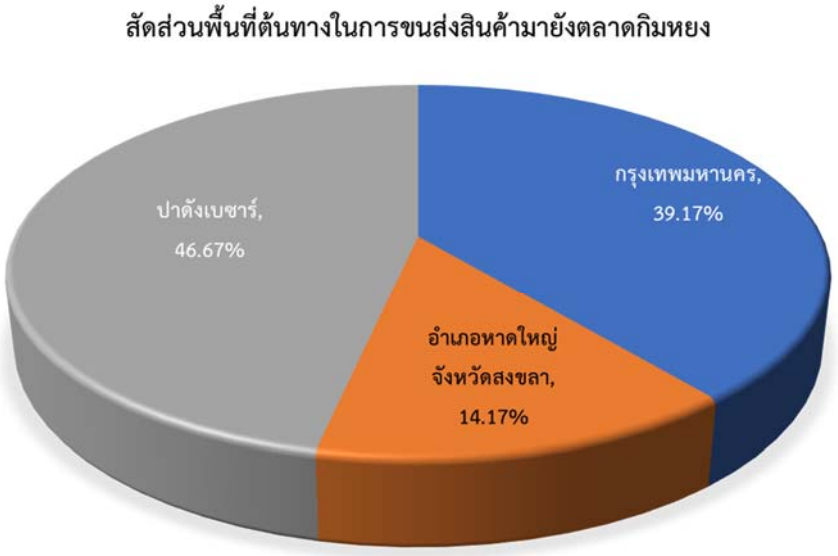
ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 4-8 สัดส่วนช่วงเวลาที่ใช้ขนส่งสินค้าของกลุ่มตัวอย่าง



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 4-9 สัดส่วนระยะเวลาที่ใช้ในการขนย้ายสินค้าของกลุ่มตัวอย่าง



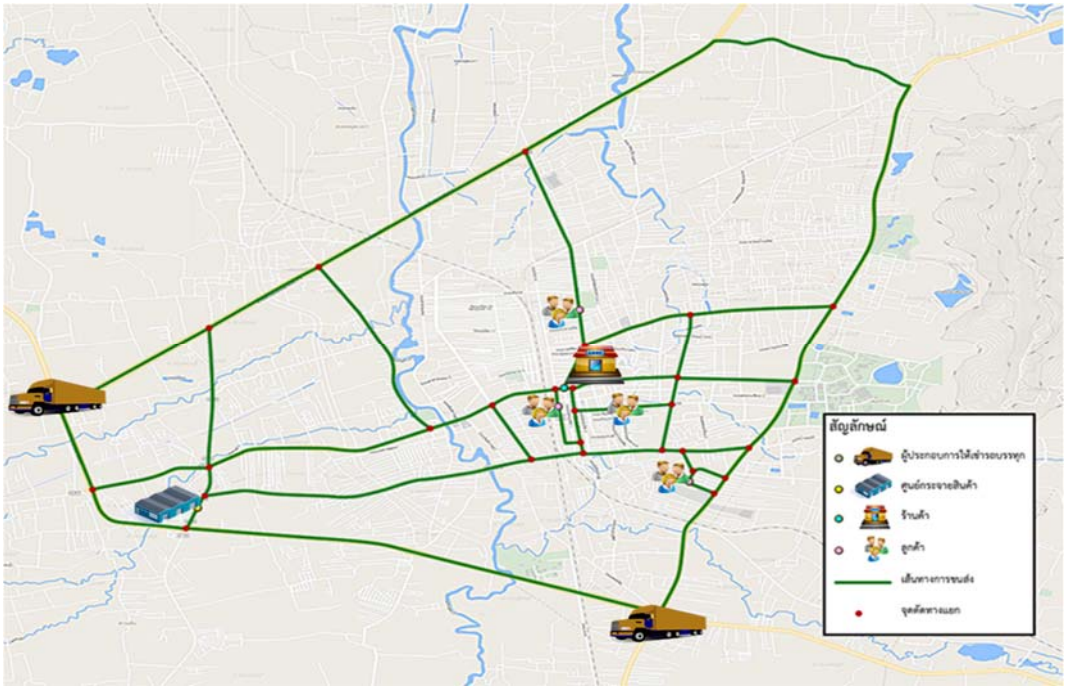
ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 4-10 สัดส่วนพื้นที่ต้นทางในการขนส่งสินค้ามาตลาดกิมหยงของกลุ่มตัวอย่าง

จากข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมและสำรวจข้อมูลจากผู้ประกอบการร้านค้าในตลาดกิมหยง มาประยุกต์ใช้กับแบบจำลองระบบหลายตัวแทน ประกอบด้วย 1) ข้อมูลสัดส่วนประเภทสินค้าที่จำหน่ายในตลาดกิมหยง ข้อมูลสัดส่วนประเภทยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้า ข้อมูลสัดส่วนความถี่ในการขนส่งสินค้า และสัดส่วนปริมาณสินค้าที่สั่งในแต่ละครั้ง ได้นำมาเพื่อใช้ในการพิจารณาความจุของรถบรรทุก และปริมาณสินค้าที่ต้องการของผู้ประกอบการร้านค้าในตลาดกิมหยง 2) ข้อมูลสัดส่วนช่วงเวลาในการขนส่งสินค้ามายังตลาดกิมหยง ได้นำมาประยุกต์ใช้กับแบบจำลองระบบหลายตัวแทนในการกำหนดกรอบช่วงเวลาในการส่งสินค้าให้กับผู้ประกอบการร้านค้า และ 3) สัดส่วนพื้นที่ต้นทางในการขนส่งสินค้ามายังตลาดกิมหยง ได้นำมาประยุกต์ใช้กับแบบจำลองระบบหลายตัวแทนในการหาระยะทางในการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังผู้ประกอบการร้านค้าในตลาดกิมหยง ซึ่งรายละเอียดการประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบหลายตัวแทน แสดงได้ดังหัวข้อ 4.3

4.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบหลายตัวแทน

การประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบหลายตัวแทน การศึกษานี้ได้เก็บรวบรวมและสำรวจข้อมูลจากผู้ประกอบการร้านค้าในตลาดกิมหยง โดยนำมาลงจุดตำแหน่งที่ตั้งในแบบจำลองระบบหลายตัวแทน ประกอบด้วย 1) ตำแหน่งศูนย์กระจายสินค้าจำนวน 1 ตำแหน่ง 2) ตำแหน่งผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกจำนวน 4 ตำแหน่ง 3) ตำแหน่งผู้ประกอบการร้านค้าจำนวน 1 ตำแหน่ง 4) ตำแหน่งลูกค้าจำนวน 8 ตำแหน่ง 5) ตำแหน่งจุดเชื่อมถนนจำนวน 23 ตำแหน่ง ทั้งหมดรวม 37 ตำแหน่ง แสดงได้ดังรูปที่ 4-11



ที่มา: ผู้วิจัย

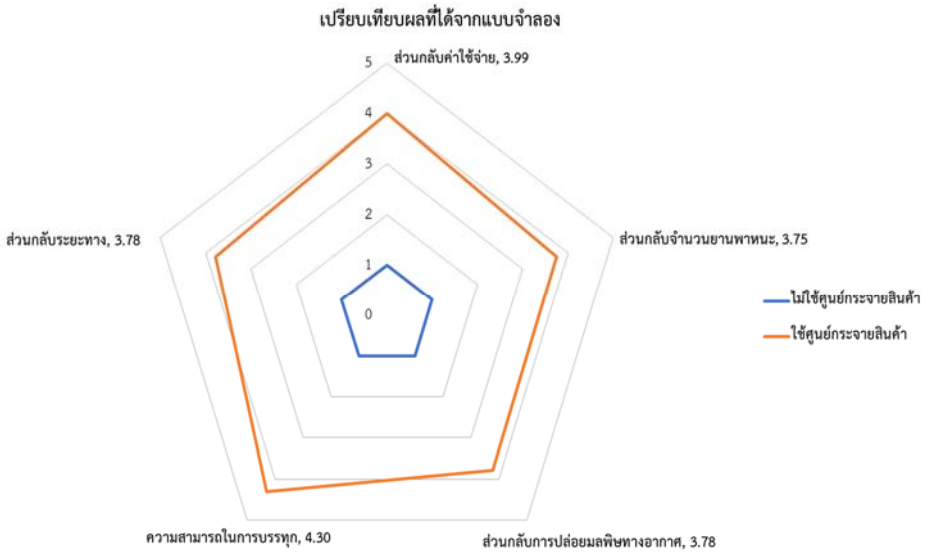
รูปที่ 4-11 ตำแหน่งที่ตั้งสถานที่ในแบบจำลองระบบหลายตัวแทน

4.3.1 ข้อกำหนดของแบบจำลองระบบหลายตัวแทน

สำหรับแบบจำลองระบบหลายตัวแทน ได้นำข้อมูลจากการรวบรวมและสำรวจข้อมูลจากผู้ประกอบการร้านค้าในตลาดกิมหยง (รายละเอียดแสดงดังหัวข้อที่ 4.2) มาประยุกต์ใช้กับแบบจำลองระบบหลายตัวแทนที่พัฒนาขึ้น โดยมีข้อกำหนดของแบบจำลองระบบหลายตัวแทน ดังนี้

- ความจุของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งสินค้า คือ 200 กล่อง (กล่องมีขนาด กว้าง 23 เซนติเมตร ยาว 31 เซนติเมตร และ สูง 26 เซนติเมตร
- ความเร็วของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งสินค้า คือ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ความเร็วในการเดินของคนในการขนสินค้า คือ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ค่าบริการพื้นที่จอดรถ คือ 20 บาทต่อชั่วโมง
- ค่าบริการค่าผ่านทาง คือ 2 บาทต่อกิโลเมตร
- ช่วงเวลาที่ใช้ในการขนส่งสินค้าตั้งแต่เวลา 10.00 – 18.00 น.
- ค่าปรับจากการส่งสินค้าไม่ตรงเวลา คือ 5 บาท
- ปริมาณสินค้าที่ต้องการของลูกค้าอยู่ในช่วง 11 - 25 ลัง
- ระยะเวลาที่ใช้ในการให้บริการขนส่งสินค้า คือ 90 นาที
- กำหนดให้ศูนย์กระจายสินค้าอยู่บริเวณรอบนอกของเขตเทศบาลนครหาดใหญ่
- พิจารณาสินค้าประเภทอาหารแห้งเท่านั้น

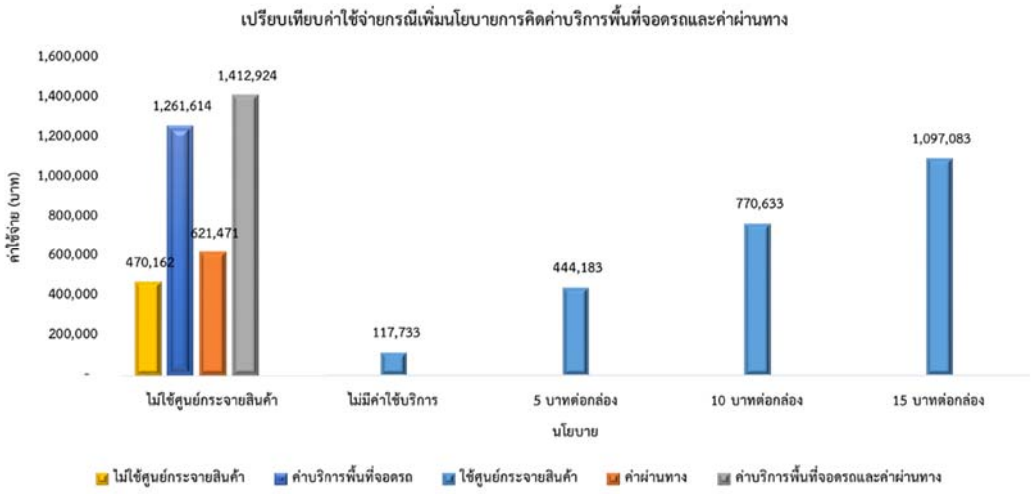
สำหรับแบบจำลองระบบหลายตัวแทน การศึกษานี้ได้กำหนดให้แบบจำลองทำการวิเคราะห์จำนวน 360 วัน จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย, จำนวนรถ และระยะทาง ในการขนส่งสินค้า อีกทั้งเปรียบเทียบปริมาณมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการขนส่งสินค้า ประกอบด้วย ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ (SPM) ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าการใช้บริการศูนย์กระจายสินค้านั้น สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 3.99 เท่า สามารถลดจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าได้ 3.75 เท่า และสามารถลดปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศได้ 3.78 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาความสามารถในการบรรทุกของรถบรรทุกในการขนส่งสินค้านั้น กรณีไม่ใช้บริการศูนย์กระจายสินค้านั้นมีความสามารถในการบรรทุกอยู่ที่ 11.25% โดยที่กรณีใช้บริการศูนย์กระจายสินค้านั้นมีความสามารถในการบรรทุกอยู่ที่ 48.40% ซึ่งเพิ่มขึ้นมาประมาณ 4.30 เท่า ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4-12



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 4-12 เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลอง กรณีไม่ใช้บริการศูนย์กระจายสินค้า และกรณีใช้บริการศูนย์กระจายสินค้า

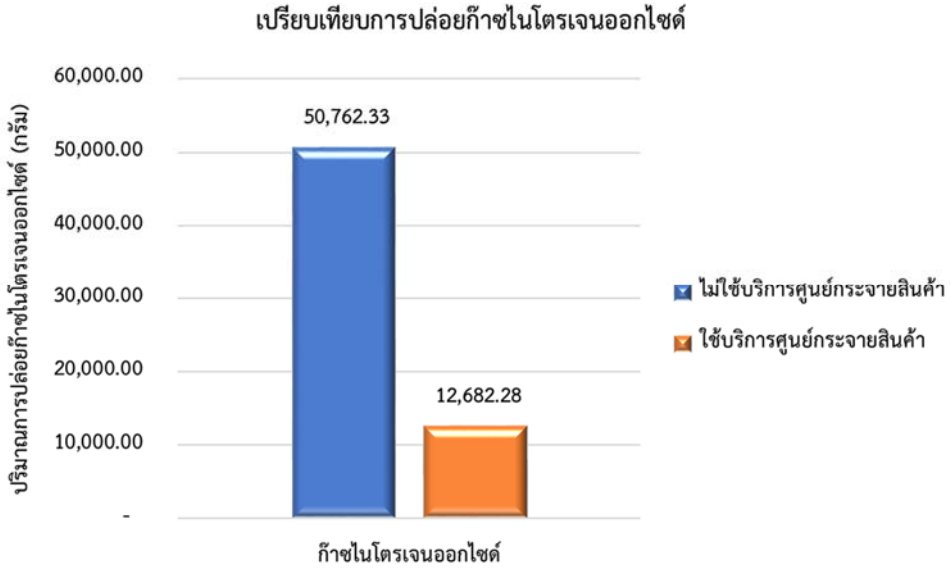
สำหรับการขนส่งสินค้ากรณีไม่ใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าจะมีค่าใช้จ่าย 470,162 บาท การขนส่งสินค้ากรณีไม่ใช้บริการศูนย์กระจายสินและมีการเพิ่มนโยบายการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถ โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดอัตราค่าบริการพื้นที่จอดรถเท่ากับ 20 บาทต่อชั่วโมง จะมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า 1,261,614 บาท ขนส่งสินค้ากรณีไม่ใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าและเพิ่มนโยบายการเก็บค่าผ่านทาง โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดอัตราค่าผ่านทางเท่ากับ 2 บาทต่อกิโลเมตร จะมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า 621,471 บาท ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้ากรณีไม่ใช้ศูนย์กระจายสินค้าและมีการเพิ่มนโยบายการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถและนโยบายการเก็บค่าผ่านทางจะมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า 1,412,924 บาท และกรณีใช้บริการศูนย์กระจายสินค้านั้น ในการศึกษานี้จะแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ประกอบด้วย 1) กรณีใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าโดยไม่มีค่าใช้บริการ จะมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า 117,733 บาท 2) กรณีใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าและค่าค่าเช่าศูนย์กระจายสินค้า 5 บาทต่อกล่อง จะมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า 444,183 บาท 3) กรณีใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าและค่าเช่าศูนย์กระจายสินค้า 10 บาทต่อกล่อง จะมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า 770,633 บาท และ 4) กรณีใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าและค่าเช่าศูนย์กระจายสินค้า 15 บาทต่อกล่อง จะมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า 1,097,083 บาท แสดงได้ดังรูปที่ 4-13



ที่มา: ผู้วิจัย

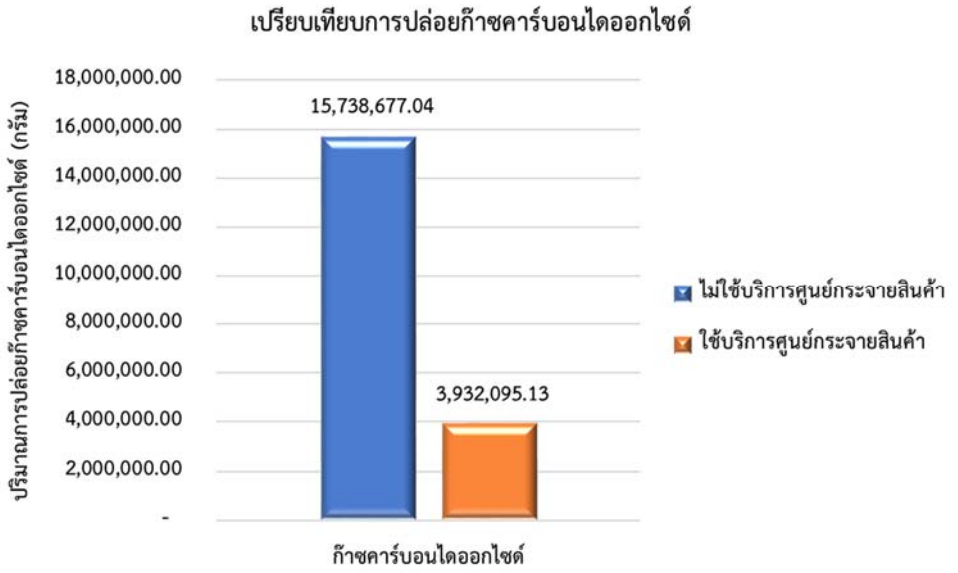
รูปที่ 4-13 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายจากการใช้นโยบาย

อีกทั้งเมื่อพิจารณาการปล่อยมลพิษทางอากาศซึ่งประกอบด้วย ปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณการปล่อยฝุ่นละออง แสดงได้ดังรูปที่ 4-14 - รูปที่ 4-16



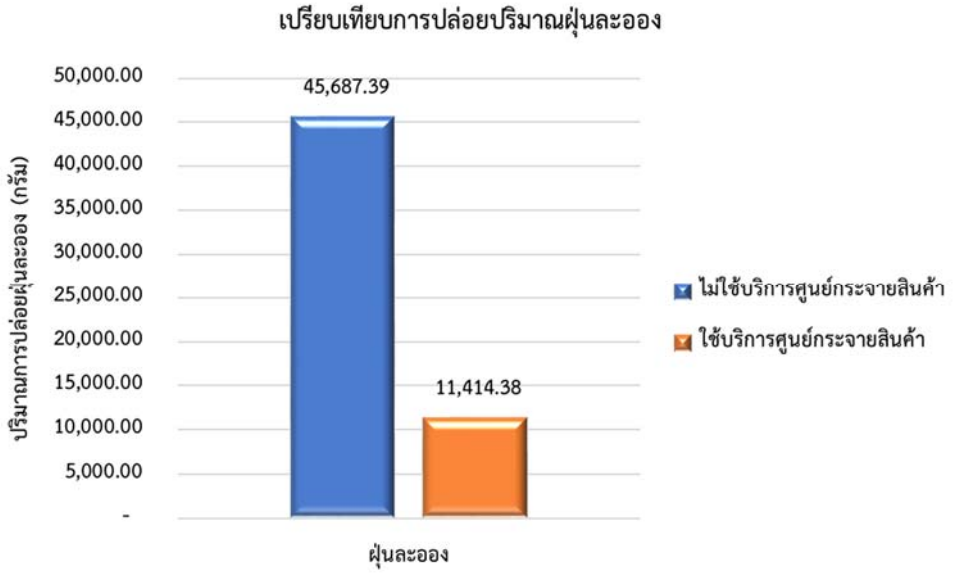
ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 4-14 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 4-15 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 4-16 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยฝุ่นละออง

จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองและนโยบายข้างต้นแสดงให้เห็นว่านโยบายการใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าสามารถลดค่าใช้จ่าย จำนวนยานพาหนะ ปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศได้ อีกทั้งยังสามารถเรียกเก็บค่าใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าจากผู้ใช้บริการเพื่อให้คุ้มกับการลงทุนในการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าได้อีกด้วย โดยค่าบริการที่มีความเหมาะสมสำหรับการศึกษานี้ สามารถแบ่งได้ดังนี้

1) กรณีไม่ใช้ศูนย์กระจายสินค้าสามารถเก็บค่าใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าได้ 5 บาทต่อกล่อง

2) กรณีไม่ใช้ศูนย์กระจายสินค้าและเพิ่มนโยบายการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถ สามารถเก็บค่าใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าได้ 15 บาทต่อกล่อง

3) กรณีไม่ใช้ศูนย์กระจายสินค้าและเพิ่มนโยบายการเก็บค่าผ่านทาง สามารถเก็บค่าใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าได้ 5 บาทต่อกล่อง

4) กรณีไม่ใช้ศูนย์กระจายสินค้าและมีการเพิ่มนโยบายการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถกับเก็บค่าผ่านทาง สามารถเก็บค่าใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าได้ 15 บาทต่อกล่อง

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทนเพื่อประเมินแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้ากับการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถและการเก็บค่าผ่านทาง โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย 1) พัฒนาและปรับเทียบแบบจำลองระบบหลายตัวแทน 2) สำรวจข้อมูลจากผู้ประกอบการร้านค้าในตลาดกิมหยงและนำไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลองระบบหลายตัวแทน โดยการศึกษาส่วนแรกได้พัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทนโดยการจำลองโครงข่ายถนน ซึ่งมีตำแหน่งทั้งหมด 36 ตำแหน่ง ประกอบด้วย 1) ผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกในการขนส่งสินค้า จำนวน 5 แห่ง 2) ผู้ประกอบการร้านค้าจำนวน 4 แห่ง 3) ศูนย์กระจายสินค้าจำนวน 1 แห่ง และ 4) ตำแหน่งของประชาชนทั่วไปจำนวน 26 ตำแหน่ง และทำการปรับเทียบแบบจำลองโดยเปรียบเทียบกับ Solomon Benchmark Problems ซึ่งทำการเปรียบเทียบทั้งหมด 3 ประเภท ประกอบด้วย 1) ประเภท R1 ซึ่งแตกต่างกัน 6.33% 2) ประเภท C1 ซึ่งแตกต่างกัน 2.65% และ 3) ประเภท RC1 ซึ่งแตกต่างกัน 2.18%

สำหรับส่วนที่สอง เป็นการสำรวจข้อมูลจากผู้ประกอบการร้านค้าในตลาดกิมหยง ประกอบด้วย 1) ประเภทสินค้าที่จำหน่าย 2) ประเภทยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้า 3) ความถี่ในการขนส่งสินค้า 4) ปริมาณสินค้าที่สั่งในแต่ละครั้ง 5) ช่วงเวลาในการขนส่งสินค้า 6) ระยะเวลาที่ใช้ในการขนย้ายสินค้า และ 7) ตำแหน่งที่ตั้งสถานที่ต้นทางในการขนส่งสินค้า จากนั้น นำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลองที่พัฒนาจากส่วนที่หนึ่ง

ผลการศึกษาผลกระทบจากแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า นโยบายการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถ และนโยบายการเก็บค่าผ่านทางในการจัดส่งสินค้าในเขตเมืองด้านต้นทุนในการขนส่งสินค้า พบว่า การใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ 3.99 เท่า โดยการขนส่งสินค้ากรณีไม่ใช้บริการศูนย์กระจายสินค้ามีค่าใช้จ่าย 470,162 บาท การขนส่งสินค้ากรณีไม่ใช้บริการศูนย์กระจายสินและมีการเพิ่มนโยบายการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถ มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า 1,261,614 บาท การขนส่งสินค้ากรณีไม่ใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าและเพิ่มนโยบายการเก็บค่าผ่านทาง มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า 621,471 บาท ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้ากรณีไม่ใช้ศูนย์กระจายสินค้าและมีการเพิ่มนโยบายการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถและนโยบายการเก็บค่าผ่านทางมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า 1,412,924 บาท และกรณีใช้บริการศูนย์กระจายสินค้านั้น ในการศึกษานี้จะแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ประกอบด้วย 1) กรณีใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าโดยไม่มีค่าใช้บริการมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า 117,733 บาท 2) กรณีใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าและค่าค่าเช่าศูนย์

กระจายสินค้า 5 บาทต่อกล่อง มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า 444,183 บาท 3) กรณีใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าและค่าเช่าศูนย์กระจายสินค้า 10 บาทต่อกล่อง มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า 770,633 บาท และ 4) กรณีใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าและค่าเช่าศูนย์กระจายสินค้า 15 บาทต่อกล่อง มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า 1,097,083 บาท

ผลการศึกษาผลกระทบจากแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า นโยบายการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถ และนโยบายการเก็บค่าผ่านทางในการจัดส่งสินค้าในเขตเมืองด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า การใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าสามารถลดปริมาณมลพิษทางอากาศ ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ (SPM) อย่างละ 3.78 เท่า โดยปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) กรณีไม่ใช้บริการศูนย์กระจายสินค้า มีปริมาณ 50,762.33 กรัม กรณีใช้บริการศูนย์กระจายสินค้า มีปริมาณ 12,682.28 กรัม ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กรณีไม่ใช้บริการศูนย์กระจายสินค้า มีปริมาณ 15,738,677.04 กรัม กรณีใช้บริการศูนย์กระจายสินค้า มีปริมาณ 3,932,095.13 กรัม และปริมาณการปล่อยฝุ่นละอองในอากาศ (SPM) กรณีไม่ใช้บริการศูนย์กระจายสินค้ามีปริมาณการปล่อย 45,687.39 กรัม กรณีใช้บริการศูนย์กระจายสินค้า มีปริมาณการปล่อย 11,414.38 กรัม

อีกทั้งการใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าสามารถลดจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าได้ 3.75 เท่า ลดระยะทางในการขนส่งสินค้าได้ 3.78 เท่า รวมทั้งสามารถเพิ่มความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถบรรทุกได้ 4.30 เท่า ส่งผลให้สามารถช่วยลดความแออัดของการจราจรบริเวณตลาดกิมหยงได้อีกด้วย ส่วนการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้านั้น หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องยังสามารถเก็บค่าใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าได้ส่วนหนึ่ง ซึ่งอัตราค่าใช้บริการที่สามารถเก็บได้สำหรับนโยบายต่าง ๆ นั้นได้แสดงไว้ในบทที่ 4

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะในเชิงวิจัย

- ควรพิจารณาประเด็นทางการเงิน ส่วนของค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างศูนย์กระจายสินค้า รวมถึงการพิจารณาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าให้สามารถเชื่อมโยงกับตำแหน่งอื่น ๆ ได้
- ควรพิจารณาความเร็วอิสระของแต่ละเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้า เพื่อให้ได้ค่าปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศที่ปล่อยได้แม่นยำมากขึ้น
- ควรพิจารณาสมการในการคำนวณปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศที่เหมาะสมกับประเทศไทย
- ควรพิจารณาขนาดของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนย้ายสินค้ารวมถึงความจุของรถบรรทุกที่สามารถบรรทุกได้จริง
- ควรพิจารณาเพิ่มนโยบายการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถและนโยบายการเก็บค่าผ่านทางสำหรับกรณีที่ใช้ศูนย์กระจายสินค้าด้วย เพื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้ศูนย์กระจายสินค้า
- ควรพิจารณาปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศจากการเพิ่มนโยบายการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถและนโยบายการเก็บค่าผ่านทางเพิ่ม เพื่อให้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

5.2.2 ข้อเสนอแนะในเชิงนโยบาย

- ควรพิจารณาอัตราค่าบริการพื้นที่จอดรถและสถานที่ก่อสร้างพื้นที่จอดรถให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่นั้น ๆ
- ควรพิจารณาอัตราค่าบริการค่าผ่านทางให้เหมาะสมกับพื้นที่นั้น ๆ รวมถึง
- ควรพิจารณาอัตราค่าบริการของแต่ละนโยบายให้มีความหลากหลาย เพื่อให้ครอบคลุมและได้ค่าที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

“กระทรวงคมนาคม”. 2017. การขนส่งสินค้าภายในประเทศ. สืบค้นเมื่อ 10 กรกฎาคม 2560. http://www.news.mot.go.th/motc/portal/graph/np/index.asp.

ชัยวัฒน์ ลือใจ. 2014. “การพัฒนาแบบจำลองโหลดด้วยระบบมัลติเอเจนท์โดยใช้ตัวกรองคาลมาน”. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ฐิตินนท์ ศรีสุวรรณดี, และ ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. 2012. “การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะด้วยวิธีอาณานิคมมด กรณีศึกษา บริษัทเจียรนัยน้ำดื่ม จำกัด”. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 706–14.

ทัศนวรรณ กังฮา, ศิวิสา จงรักษ์ และ พัชราภรณ์ เนียมมณี. 2005. “การจัดเส้นทางการเดินรถของรถรับ–ส่งนักเรียนโดยการใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม”. *การประชุมวิชาการการวิจัยดำเนินงานประจำปี 2548*, 49–58.

ธนา สาตรา, กมลนัทธ์ ชวลิตธิติกร, ณัฐวดี ชนประเสริฐ และ วิธิดา วีรินทร. 2012. “การประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมมดกับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถโดยมีข้อจำกัดด้านกรอบเวลาและพิจารณระดับการบริการ”. *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจาปี พ.ศ. 2555*, 15–22.

ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร. 2014. “การลดต้นทุนการขนส่ง โดยการจัดเส้นทางพาหนะที่เหมาะสม กรณีศึกษาธุรกิจเครื่องดื่มชานม”. *วารสารปัญญาภิวัฒน์ ปีที่ 5 ฉบับพิเศษ ประจำเดือนพฤษภาคม 2557* 5: 272–79.

ราชการ ปรึกษาดี, และ สุนันฑา สดสี. 2008. “การเปรียบเทียบหาเส้นทางที่เหมาะสมโดยวิธีระบบมดและวิธี Dijkstra’s Algorithm”. *The National Conference on Computing and Information Technology*, 572–77.

“ศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Center) คืออะไร? | logistiCafe.com”. 2017. สืบค้นเมื่อ 10 กรกฎาคม 2560. http://www.logisticafe.com/2009/10/dc-distribution-center/.

Avci, Mualla Gonca, and Hasan Selim. 2016. “A multi-agent system model for supply chains with lateral preventive transshipments: Application in a multi-national automotive supply chain”. *Computers in Industry* 82 (ตุลาคม): 28–39. doi:10.1016/j.compind.2016.05.005.

Baykasoğlu, Adil, and Vahit Kaplanoğlu. 2015. “An application oriented multi-agent based approach to dynamic load/truck planning”. *Expert Systems with Applications* 42 (15–16): 6008–25. doi:10.1016/j.eswa.2015.04.011.

"Distribution Center / ศูนย์กระจายสินค้า - Food Wiki | Food Network Solution". 2017. สืบค้นเมื่อ 10 กรกฎาคม 2560. http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1841/distribution-center

Esmaeili, Ahmad, Nasser Mozayani, Mohammad Reza Jahed Motlagh and Eric T. Matson. 2016. "The impact of diversity on performance of holonic multi- agent systems". *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 55 (ตุลาคม): 186–201. doi:10.1016/j.engappai.2016.06.011.

Franceschetti, Anna, Dorothée Honhon, Gilbert Laporte, Tom Van Woensel and Jan C. Fransoo. 2017. "Strategic fleet planning for city logistics". *Transportation Research Part B: Methodological* 95 (มกราคม): 19–40. doi:10.1016/j.trb.2016.10.005.

Furtado, Pedro, and Jean-Marc Frayret. 2015. "Proposal Sustainability Assessment of Resource Sharing in Intermodal Freight Transport with Agent-based Simulation". *IFAC-PapersOnLine*, 15th IFAC Symposium onInformation Control Problems inManufacturing, 48 (3): 436–41. doi:10.1016/j.ifacol.2015.06.120.

Goh, Mark. 2002. "Congestion management and electronic road pricing in Singapore". *Journal of Transport Geography* 10 (1): 29–38. doi: 10. 1016/ S0966-6923(01)00036-9.

Kauf, Sabina. 2016. "City logistics – A Strategic Element of Sustainable Urban Development". *Transportation Research Procedia*, The 2nd International Conference "Green Cities - Green Logistics for Greener Cities", 2-3 March 2016, Szczecin, Poland, 16 (มกราคม): 158–64. doi:10.1016/j.trpro.2016.11.016.

Köster, Felix, Marlin W. Ulmer and Dirk C. Mattfeld. 2015. "Cooperative Traffic Control Management for City Logistic Routing". *Transportation Research Procedia*, 18th Euro Working Group on Transportation, EWGT 2015, 14-16 July 2015, Delft, The Netherlands, 10 (มกราคม): 673–82. doi:10.1016/j.trpro.2015.09.021.

Mingyong, Lai, and Cao Erbao. 2010. "An improved differential evolution algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries and time windows". *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 23 (2): 188–95. doi:10.1016/j.engappai.2009.09.001.

Morganti, Eleonora, and Jesus Gonzalez-Feliu. 2015. “City logistics for perishable products. The case of the Parma’s Food Hub”. *Case Studies on Transport Policy* 3 (2): 120–28. doi:10.1016/j.cstp.2014.08.003.

NILIM. 2003. “Qualitative appraisal index calculations used for computation of CO2, NOx and SPM (in Japanese)”.

Pokudom, Kannicha, Nikorn Pokudom and Tassanee Plongkaew. 2015. “การระยุกต์ใช้ระบบอาณานิคมมดสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง”. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชียฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี EAU Heritage Journal:Science and Technology* 9 (3): 84–96.

RYE, Tom. 2006. “Congestion and Road Pricing”. Reference Material for COMPETENCE. http://transportlearning.net/competence/docs/pricing.pdf.

Solomon, Marius M. 2017. “Benchmarking Problems”. สืบค้นเมื่อ 14 เมษายน 2560. http://w.cba.neu.edu/~msolomon/problems.htm.

Strehl, Alexander L., Lihong Li, Eric Wiewiora, John Langford and Michael L. Littman. 2006. “PAC Model-free Reinforcement Learning”. ใน *Proceedings of the 23rd International Conference on Machine Learning*, 881–888. ICML ’06. New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/1143844.1143955.

Teo, Joel S. E., Eiichi Taniguchi and Ali G. Qureshi. 2014. “Evaluation of Load Factor Control and Urban Freight Road Pricing Joint Schemes with Multi-agent Systems Learning Models”. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Eighth International Conference on City Logistics 17-19 June 2013, Bali, Indonesia, 125 (มีนาคม): 62–74. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.1456.

Wangapisit, Ornkamon, Eiichi Taniguchi, Joel S. E. Teo and Ali Gul Qureshi. 2014. “Multi-agent Systems Modelling for Evaluating Joint Delivery Systems”. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Eighth International Conference on City Logistics 17-19 June 2013, Bali, Indonesia, 125 (มีนาคม): 472–83. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.1489.

ภาคผนวก ก
แบบสำรวจข้อมูลผู้ประกอบการร้านค้าในตลาดกิมหยง

ภาคผนวก ก-1 แบบสอบถามผู้ประกอบการร้านค้าในตลาดกิมหยง

แบบสอบถามผู้ประกอบการร้านค้าในตลาดกิมหยง
อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

แบบสอบถามมี 3 ส่วน ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 ข้อมูลร้านค้า

ส่วนที่ 3 ข้อมูลการขนส่งสินค้า

โปรดทำเครื่องหมาย ☑ หน้าคำตอบที่ท่านต้องการ

หากมีข้อสงสัยกรุณาติดต่อ นายวิศรุต ช่วยจันทร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โทร 094-0567256

ขอขอบคุณเป็นอย่างสูงที่ท่านให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

โดยข้อมูลส่วนตัวของท่านจะถูกเก็บเป็นความลับและใช้ในการศึกษาเพื่อประโยชน์ทางวิชาการเท่านั้น

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ ☐ 1. ชาย ☐ 2. หญิง

2. อายุ ☐ 1. 10-20 ปี ☐ 2. 21-30 ปี

☐ 3. 31-40 ปี ☐ 4. 41-50 ปี

☐ 5. 51-60 ปี ☐ 6. มากกว่า 60 ปี

ส่วนที่ 2 ข้อมูลร้านค้า

3. ประเภทสินค้าที่จำหน่าย

☐ 1. เสื้อผ้า ☐ 2. รองเท้า

☐ 3. เครื่องใช้ไฟฟ้า ☐ 4. อาหารแห้ง

☐ 5. อื่นๆ.....

4. รายได้จากการจำหน่ายสินค้า (บาทต่อเดือน)

☐ 1. ต่ำกว่า 5,000 บาท ☐ 2. 5,000-10,000 บาท

☐ 3. 10,001-15,000 บาท ☐ 4. 15,001-20,000 บาท

☐ 5. 20,001-25,000 บาท ☐ 6. มากกว่า 25,000 บาท

ส่วนที่ 3 ข้อมูลการขนส่งสินค้า

5. ประเภทยานพาหนะที่ใช้ขนส่งสินค้า

☐ 1. รถสามล้อพ่วง ☐ 2. รถจักรยานยนต์

☐ 3. รถกระบะ ☐ 4. รถ 6 ล้อ

☐ 5. รถ 10 ล้อ ☐ 6. อื่นๆ.....

7. ความถี่ในการขนส่งสินค้า

☐ 1. 1-2 ครั้งต่อสัปดาห์ ☐ 2. 3-4 ครั้งต่อสัปดาห์

☐ 3. 5-8 ครั้งต่อสัปดาห์ ☐ 4. 8 ครั้งต่อสัปดาห์ขึ้นไป

☐ 5. ใช้บริการทุกวัน ☐ 6. อื่นๆ (บางครั้ง/นานๆ ครั้ง)

8. ปริมาณสินค้าที่สั่งในแต่ละครั้ง (เปรียบเทียบกับลังเบียร์)

☐ 1. 1 - 5 ลัง ☐ 2. 6 - 10 ลัง
☐ 3. 11 - 15 ลัง ☐ 4. 16 - 20 ลัง
☐ 4. 20 - 25 ลัง ☐ 5. มากกว่า 25 ลัง

9. ช่วงเวลาในการส่งสินค้า

☐ 1. 0.00 - 2.00 น. ☐ 2. 2.00 - 4.00 น.
☐ 3. 4.00 - 6.00 น. ☐ 4. 6.00 - 8.00 น.
☐ 5. 8.00 - 10.00 น. ☐ 6. 10.00 - 12.00 น.
☐ 7. 12.00 - 14.00 น. ☐ 8. 14.00 - 16.00 น.
☐ 9. 16.00 - 18.00 น. ☐ 10. 18.00 - 20.00 น.
☐ 11. 20.00 - 22.00 น. ☐ 12. 22.00 - 24.00 น.

10. เวลาในการรอขนย้ายสินค้าจากรถบรรทุกไปยังร้านค้า

☐ 1. ประมาณ 1 - 5 นาที ☐ 2. ประมาณ 6 - 10 นาที
☐ 3. ประมาณ 11 - 15 นาที ☐ 4. ประมาณ 16 - 20 นาที
☐ 5. ประมาณ 21 - 25 นาที ☐ 6. ประมาณ 26 - 30 นาที

ภาคผนวก ก-2 ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ลักษณะ	จำนวน	คิดเป็นร้อยละ
เพศ		
● เพศชาย	45	37.50
● เพศหญิง	75	62.50
อายุ		
● 21 – 30 ปี	35	29.17
● 31 – 40 ปี	41	34.17
● 41 – 50 ปี	26	21.67
● 51 – 60 ปี	15	12.50
● มากกว่า 60 ปี	3	2.50
ประเภทสินค้าที่จำหน่าย		
● เสื้อผ้า	16	13.33
● รองเท้า	11	9.17
● เครื่องใช้ไฟฟ้า	17	14.17
● อาหารแห้ง	66	55.00
● อื่น ๆ	10	8.33
รายได้จากการจำหน่ายสินค้า		
● ต่ำกว่า 5,000 บาท	1	0.83
● 5,000 – 10,000 บาท	9	7.50
● 10,000 – 15,000 บาท	51	42.50
● 15,000 – 20,000 บาท	49	40.83
● 20,000 – 25,000 บาท	9	7.50
● มากกว่า 25,000 บาท	1	0.83

ภาคผนวก ก-2 ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง (ต่อ)

ลักษณะ	จำนวน	คิดเป็นร้อยละ
ประเภทยานพาหนะที่ใช้ขนส่งสินค้า		
● รถสามล้อพ่วง	4	3.33
● รถจักรยานยนต์	5	4.17
● ระกระบะ	107	89.17
● รถ 6 ล้อ	1	0.83
● รถ 10 ล้อ	1	0.83
● อื่น ๆ	2	1.67
ความถี่ในการขนส่งสินค้า		
● 1 – 2 ครั้งต่อสัปดาห์	43	35.83
● 3 – 4 ครั้งต่อสัปดาห์	23	19.17
● 5 – 8 ครั้งต่อสัปดาห์	8	6.67
● ใช้บริการทุกวัน	16	13.33
● เดือนละครั้ง	30	25.00
ปริมาณสินค้าที่สั่งในแต่ละครั้ง		
● 1 – 5 ลัง	12	10.00
● 6 – 10 ลัง	13	10.83
● 11 – 15 ลัง	14	11.67
● 16 – 20 ลัง	46	38.33
● 21 – 25 ลัง	35	29.17
ช่วงเวลาในการส่งสินค้า		
● 10:00 – 12:00 น.	13	10.83
● 12:00 – 14:00 น.	21	17.50
● 14:00 – 16:00 น.	50	41.67
● 16:00 – 18:00 น.	36	30.00
ระยะเวลาที่ใช้ในการขนย้ายสินค้า		
● 6 – 10 นาที	6	5.00

ภาคผนวก ก-2 ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง (ต่อ)

ลักษณะ	จำนวน	คิดเป็นร้อยละ
● 11 – 15 นาที	14	11.67
● 16 – 20 นาที	28	23.33
● 21 – 25 นาที	32	26.67
● 26 – 30 นาที	40	33.33
ตำแหน่งที่ตั้ง		
● กรุงเทพมหานคร	47	39.17
● หาดใหญ่ สงขลา	17	14.17
● ปาดังเบซาร์	56	46.67

ภาคผนวก ข
การเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถ

ภาคผนวก ข การเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถ (Parking Charge)

ในส่วนของนโยบายการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถ งานวิจัยนี้ได้ยกกรณีตัวอย่างอัตราการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถในสถานที่ต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ห้างสรรพสินค้า

สำหรับห้างสรรพสินค้าชั้นนำในปัจจุบันได้มีนโยบายการเก็บค่าบริการจอดรถ กรณีที่ลูกค้าไม่ได้ซื้อสินค้าหรือบริการในอัตราที่ทางห้างสรรพสินค้ากำหนด ซึ่งมีอัตราค่าบริการ ดังนี้

ตารางที่ ข-1 อัตราค่าบริการที่จอดรถห้างสรรพสินค้าชั้นนำของประเทศไทย

ชื่อห้างสรรพสินค้า	ระยะเวลาใช้บริการ (ชั่วโมง) / อัตราค่าบริการ (บาท)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
เซ็นทรัล เวิลด์	ฟรี	ฟรี	ฟรี	20	40	90	140	190
สยามพารากอน	ฟรี	ฟรี	20	40	60	80	130	180
แพลททินัม	20	40	70	100	130	160	190	220
เอ็มโพเรียม	ฟรี	ฟรี	ฟรี	20	40	60	110	160
ยูเนียนมอลล์	10	20	20	40	40	60	80	100
มาบุญครอง	40	40	40	40	60	80	100	120
เซ็นทรัล ลาดพร้าว	ฟรี	20	40	90	140	190	240	290
เซ็นทรัล พระราม 9	ฟรี	ฟรี	ฟรี	10	20	30	40	50
เดอะมอลล์	ฟรี	ฟรี	ฟรี	ฟรี	20	40	90	140
เทอร์มินอล 21	ฟรี	ฟรี	20	40	90	190	290	390
เอสพลานาด รัชดาภิเษก	ฟรี 30 นาทีแรก ชั่วโมงต่อไป ชั่วโมงละ 20 บาท							
เซ็นทรัล ชิดลม	ฟรี	ฟรี	30	60	90	150	210	270
เซ็นทรัล เอ็มบาสซี่	ฟรี	ฟรี	30	60	90	150	210	270

ที่มา: https://money.kapook.com/view95857.html (2560)

- ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

สำหรับท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ มีพื้นที่ให้บริการจอดรถ ประกอบด้วย 1) อาคารจอดรถทั้งสิ้น 2 อาคาร มีทั้งหมด 6 ชั้น รองรับรถยนต์ได้กว่า 5,000 คัน เชื่อมกับอาคารผู้โดยสารชั้น 3 2) ลานจอดรถด้านข้างของแต่ละอาคารจอดรถ รองรับรถยนต์ได้กว่า 1,100 คัน 3) ลานจอดรถระยะยาว อยู่ตรงข้ามศูนย์การขนส่งสาธารณะ สามารถรองรับรถยนต์ได้กว่า 4,000 คัน และรถโดยสารกว่า 78 คัน ซึ่งมีอัตราค่าบริการ ดังนี้

ตารางที่ ข-2 อัตราค่าบริการจอดรถยนต์ อาคารจอดรถยนต์ ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

ระยะเวลาใช้บริการ (ชั่วโมง)	อัตราค่าบริการ (บาท)
1	25
2	50
3	80
4	110
5	145
6	180
7 – 24	250

ที่มา: http://suvarnabhumiairport.com/th/266-parking (2560)

ที่มา: http://suvarnabhumiairport.com/th/266-parking (2560)

รูปที่ ข-1 อาคารจอดรถยนต์ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

ตารางที่ ข-3 อัตราค่าบริการจอดรถยนต์บริเวณลานจอดระยะยาว ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

ระยะเวลาใช้บริการ (ชั่วโมง)	อัตราค่าบริการ (บาท)
1	20
2	40
3	60
4	80
5	100
6	120
7 – 24	140

ที่มา: http://suvarnabhumiairport.com/th/266-parking (2560)

ที่มา: http://suvarnabhumiairport.com/th/266-parking (2560)

รูปที่ ข-2 ลานจอดรถยนต์ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

- ท่าอากาศยานดอนเมือง

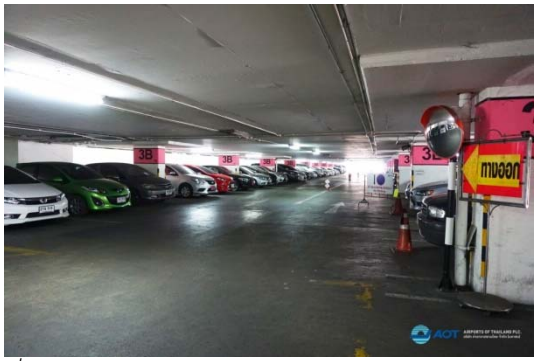
สำหรับท่าอากาศยานดอนเมือง ได้มีการนำระบบควบคุมการเข้า – ออกยานพาหนะอัตโนมัติมาใช้เป็นครั้งแรกในประเทศไทย โดยได้ทำการติดตั้งเครื่องที่บริเวณอาคารจอดรถ 7 ชั้น อาคารจอดรถระยะยาว และที่จอดรถในอาคารสำนักงานท่าอากาศยานดอนเมือง ซึ่งการเก็บค่าบริการที่จอดรถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) บัตรสมาชิกรายเดือนและบัตรสมาชิกรายปี สำหรับพนักงานและเจ้าหน้าที่ของบริษัทท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) โดยมีอัตราค่าบริการเดือนละ 1,000 บาท และมีค่ามัดจำบัตร 1,000 บาท 2) บัตรจอดรถรายชั่วโมง สำหรับบุคคลทั่วไปที่มาใช้บริการ และติดต่อภายในท่าอากาศยานดอนเมือง ซึ่งมีอัตราค่าบริการ ดังนี้

ตารางที่ ข-4 อัตราค่าบริการที่จอดรถยนต์รายชั่วโมง ท่าอากาศยานดอนเมือง

ระยะเวลาใช้บริการ (ชั่วโมง)	อัตราค่าบริการ (บาท)
0 – 3	20
4	40
5	60
6	80
7	100
8 – 24	250

*** เศษของชั่วโมงคิดเป็น 1 ชั่วโมง

ที่มา: http://donmueangairportthai.com/th/383-parking (2560)



ที่มา: http://donmueangairportthai.com/th/383-parking (2560)

รูปที่ ข-3 อาคารที่จอดรถท่าอากาศยานดอนเมือง

- ท่าอากาศยานภูเก็ต

สำหรับท่าอากาศยานภูเก็ต มีพื้นที่ให้บริการจอดรถรวมทั้งหมด 26,000 ตารางเมตร เป็นพื้นที่จอดรถยนต์ 24,814 ตารางเมตร สามารถจอดรถยนต์ส่วนบุคคลได้ 366 คัน และรถบัสอีก 77 คัน โดยมีอัตราค่าบริการ ดังนี้

ตารางที่ ข-5 อัตราค่าบริการค่าจอดรถท่าอากาศยานภูเก็ต

ระยะเวลาใช้บริการ (ชั่วโมง)	**อัตราค่าบริการ (บาท)**	
	รถยนต์ 4 ล้อ (บาท)	**รถยนต์ 6 ล้อขึ้นไป (บาท)**
15 นาทีแรก	ไม่คิดค่าบริการ	ไม่คิดค่าบริการ
1	20	100
2	40	200
3	50	300
4 – 6	100	400
7 – 24	200	400

ที่มา: http://phuketairportthai.com/th/499-parking (2560)

ที่มา: https://2baht.com/phuket-airport-new-intl-terminal/ (2560)

รูปที่ ข-4 ลานจอดรถสนามบินภูเก็ต

- ท่าอากาศยานหาดใหญ่

สำหรับท่าอากาศยานหาดใหญ่ มีพื้นที่ให้บริการจอดรถรวมทั้งหมด 28,751 ตารางเมตร สามารถจอดได้ 883 คัน โดยมีอัตราค่าบริการ ดังนี้

ตารางที่ ข-6 อัตราค่าบริการค่าจอดรถท่าอากาศยานหาดใหญ่

ระยะเวลาใช้บริการ (ชั่วโมง)	**อัตราค่าบริการ (บาท)**	
	รถยนต์ 4 ล้อ (บาท)	**รถยนต์ 6 ล้อขึ้นไป (บาท)**
15 นาทีแรก	ไม่คิดค่าบริการ	ไม่คิดค่าบริการ
1	10	20
2	20	40
3	35	70
4 – 24	100	100

ที่มา: http://hatyaiairportthai.com/th/433-parking (2560)

ที่มา: http://placeandsee.com/s?as=foto&fp=52122574 (2560)

รูปที่ ข-5 ลานจอดรถสนามบินหาดใหญ่

- โรงพยาบาลสงขลานครินทร์

สำหรับการให้บริการพื้นที่จอดรถแบบคิดค่าบริการในเขตพื้นที่โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ มีทั้งหมด 3 จุด ประกอบด้วย 1) บริเวณลานจอดรถหน้าโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ซึ่งสามารถจอดได้ 130 คัน 2) บริเวณด้านหลังอาคารรัตนชีวรักษ์ ซึ่งสามารถจอดได้ 63 คัน และ 3) บริเวณอาคารบริการวิชาการ ซึ่งเป็นอาคารจอดรถใต้ดิน 2 ชั้น สามารถจอดได้ 180 คัน โดยที่ บริเวณลานจอดรถหน้าโรงพยาบาลสงขลานครินทร์สามารถจอดได้ตลอด 24 ชั่วโมง ส่วนบริเวณด้านหลังอาคารรัตนชีวรักษ์และบริเวณอาคารบริการวิชาการสามารถจอดได้ในช่วงเวลา 06:00 น. – 22:00 น. โดยมีอัตราค่าบริการดังนี้

ตารางที่ ข-7 อัตราค่าบริการพื้นที่จอดรถยนต์บริเวณลานจอดรถหน้าโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ (แบบจอดได้ 24 ชั่วโมง)

ระยะเวลาใช้บริการ (ชั่วโมง)	**อัตราค่าบริการ (บาท)**
30 นาทีแรก	ไม่คิดค่าบริการ
ช่วงเวลา 06:00 น. – 22:00 น.	ชั่วโมงละ 20 บาท
ช่วงเวลา 22:00 น. – 06:00 น.	คันละ 50 บาท
*** รถจักรยานยนต์ ไม่คิดค่าบริการ	

ที่มาข้อมูล: คณะแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2560)

ตารางที่ ข-8 อัตราค่าบริการพื้นที่จอดรถยนต์บริเวณหลังอาคารรัตนชีวรักษ์และบริเวณอาคารบริการวิชาการ (แบบจอดได้ในช่วงเวลา 06:00 น. – 22:00 น.)

ระยะเวลาใช้บริการ (ชั่วโมง)	อัตราค่าบริการ (บาท)
15 นาทีแรก	ไม่คิดค่าบริการ
1 – 4 ชั่วโมง	50 บาท
มากกว่า 4 ชั่วโมง	ชั่วโมงละ 10 บาท
*** เกิน 15 นาที คิดเป็น 1 ชั่วโมง	

ที่มา: คณะแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2560)

ที่มา: http://news.gimyong.com/article/2797 (2560)

รูปที่ ข-6 แผนผังที่จอดรถในเขตพื้นที่โรงพยาบาลสงขลานครินทร์

ภาคผนวก ค
การเก็บค่าบริการค่าผ่านทาง

ภาคผนวก ค การเก็บค่าบริการค่าผ่านทาง (Road Pricing)

การเก็บค่าผ่านทางสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย 1) การเก็บค่าผ่านทางเพื่อการเดินทางไปยังเป้าหมายได้อย่างรวดเร็ว (Toll way) และ 2) การเก็บค่าผ่านทางเพื่อเข้าถึงพื้นที่ (Congestion Charge Zone)

- การเก็บค่าผ่านทาง (Toll way)

ถนนที่เก็บค่าผ่านทาง (Toll way) เป็นถนนที่จะอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ที่ต้องการจะเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ยกตัวอย่างอัตราค่าผ่านทาง ดังนี้

o อัตราค่าผ่านทางของทางพิเศษเฉลิมมหานคร และ ทางพิเศษศรีรัช

ตารางที่ ค-1 อัตราค่าผ่านทางของทางพิเศษเฉลิมมหานคร และ ทางพิเศษศรีรัช

ทางพิเศษ/ด่าน	อัตราค่าผ่านทาง (บาท/คัน)		
	รถ 4 ล้อ	**รถ 6 – 10 ล้อ**	**รถมากกว่า 10 ล้อ**
ทางพิเศษเฉลิมมหานคร	50	75	110
● ด่านอาจณรงค์ 1	40	65	100
● ด่านบางจาก	10	15	30
ทางพิเศษศรีรัช	50	75	110
● ด่านศรีนครินทร์	25	55	75
● ด่านพระราม 9, ด่านอโศก 3	25	55	75
● ด่านพระราม 9	25	55	75
● ด่านประชาชื่น (ขาเข้า)	60	90	150
● ด่านประชาชื่น (ขาออก)	10	15	30
● ด่านประชาชื่น 1	15	20	35
● ด่านประชาชื่น 2	15	20	35
● ด่านงามวงศ์วาน 1 (ขาเข้า)	15	20	35
● ด่านงามวงศ์วาน 1 (ขาออก)	15	20	35
ทางพิเศษบูรพาวิถี			
● ไม่เกิน 20 กิโลเมตร	20	50	75
● เกิน 20 กิโลเมตร กิโลเมตรละ	1.30	2.60	3.90

ที่มา: การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2560)

- อัตราค่าผ่านทางของทางพิเศษบูรพาวิถี (ทิศทางขาออกเมือง)

ตารางที่ ค-2 อัตราค่าผ่านทางของทางพิเศษบูรพาวิถี (ทิศทางขาออกเมือง)

ขึ้นที่ด่าน	ลงที่ด่าน	อัตราค่าผ่านทาง (บาท/คัน)		
		รถ 4 ล้อ	รถ 6 – 10 ล้อ	รถมากกว่า 10 ล้อ
บางนา กม.6	บางแก้ว	20	50	75
(ขาออก)	บางนา กม. 9 – 1	20	50	75
	บางนา กม. 9 – 2	20	50	75
	บางพลี 1	20	50	75
	สุวรรณภูมิ 1	20	50	75
	เมืองใหม่บางพลี	20	50	75
	บางเสาธง	30	60	95
	บางพลีน้อย	40	85	130
	บางสมัคร	45	95	145
	บางปะกง 1	60	120	180
	ชลบุรี	70	145	215
วงแหวนรอบนอก	บางพลี 1	20	50	75
(บางแก้ว)	สุวรรณภูมิ 1	20	50	75
	เมืองใหม่บางพลี	20	50	75
	บางเสาธง	20	50	75
	บางพลีน้อย	35	70	105
	บางสมัคร	40	80	120
	บางปะกง 1	50	100	155
	ชลบุรี	60	125	190
บางพลี 2	สุวรรณภูมิ 1	20	50	75
	เมืองใหม่บางพลี	20	50	75
	บางเสาธง	20	50	75
	บางพลีน้อย	25	55	85
	บางสมัคร	35	70	105
	บางปะกง 1	45	90	135

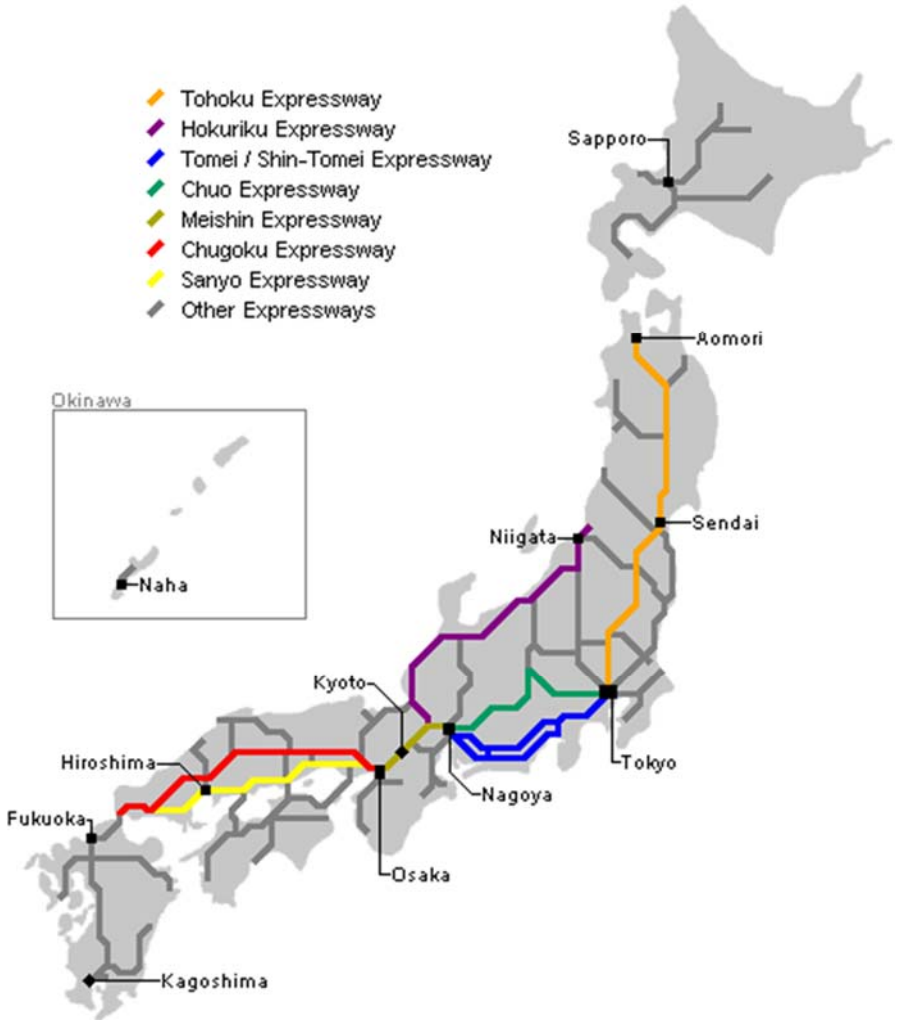
ตารางที่ ค-2 อัตราค่าผ่านทางของทางพิเศษบูรพาวิถี (ทิศทางขาออกเมือง) (ต่อ)

ขึ้นที่ด่าน	ลงที่ด่าน	อัตราค่าผ่านทาง (บาท/คัน)		
		รถ 4 ล้อ	รถ 6 – 10 ล้อ	รถมากกว่า 10 ล้อ
สุวรรณภูมิ 2	เมืองใหม่บางพลี	20	50	75
	บางเสาธง	20	50	75
	บางพลีน้อย	25	55	85
	บางสมัคร	30	65	100
	บางปะกง 1	45	90	135
	ชลบุรี	55	115	170
บางบ่อ	บางพลีน้อย	20	50	75
	บางสมัคร	20	50	75
	บางปะกง 1	20	50	75
	ชลบุรี	35	70	105
บางวัว	บางปะกง 1	20	50	75
	ชลบุรี	20	50	75
บางปะกง 2	ชลบุรี	20	50	75

ที่มา: การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2560)

o อัตราค่าผ่านทางในประเทศญี่ปุ่น

ในประเทศญี่ปุ่นนั้นมีเครือข่ายถนนที่มีการเก็บค่าผ่านทางหลายเส้นทาง ซึ่งรวมระยะทางกว่า 7,000 กิโลเมตร (ดังแสดงในรูปที่ ค-1) โดยที่ความเร็วสำหรับรถยนต์โดยสารทั่วไปอยู่ที่80 – 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ยกเว้นบางเส้นทางที่กำหนดความเร็วอยู่ที่ 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งอัตราค่าผ่านทางและระยะทางแสดงได้ดังตารางที่ ค-3 และ ตารางที่ ค-4 ตามลำดับ



ที่มา: http://www.japan-guide.com/e/e2354.html

รูปที่ ค-1 เส้นทางทางด่วนที่สำคัญในประเทศญี่ปุ่น

ตารางที่ ค-3 อัตราค่าผ่านทางในประเทศญี่ปุ่น (หน่วย : เยน)

	Kagoshima	Fukuoka	Hiroshima	Osaka	Kyoto	Nagoya	Aomori
Kagoshima	27,500	23,000	17,000	12,000	10,500	8,000	14,000
Aomori	39,000	34,000	28,500	23,000	22,000	20,500	
Nagoya	21,000	16,000	10,500	3,500	3,500		
Kyoto	18,500	13,500	8,000	2,000			
Osaka	18,000	13,000	7,500				
Hiroshima	11,500	6,500					
Fukuoka	6,000						

ที่มา: http://www.japan-guide.com/e/e2354.html (2560)

ตารางที่ ค-4 ระยะทางทางด่วนในประเทศญี่ปุ่น (หน่วย : กิโลเมตร)

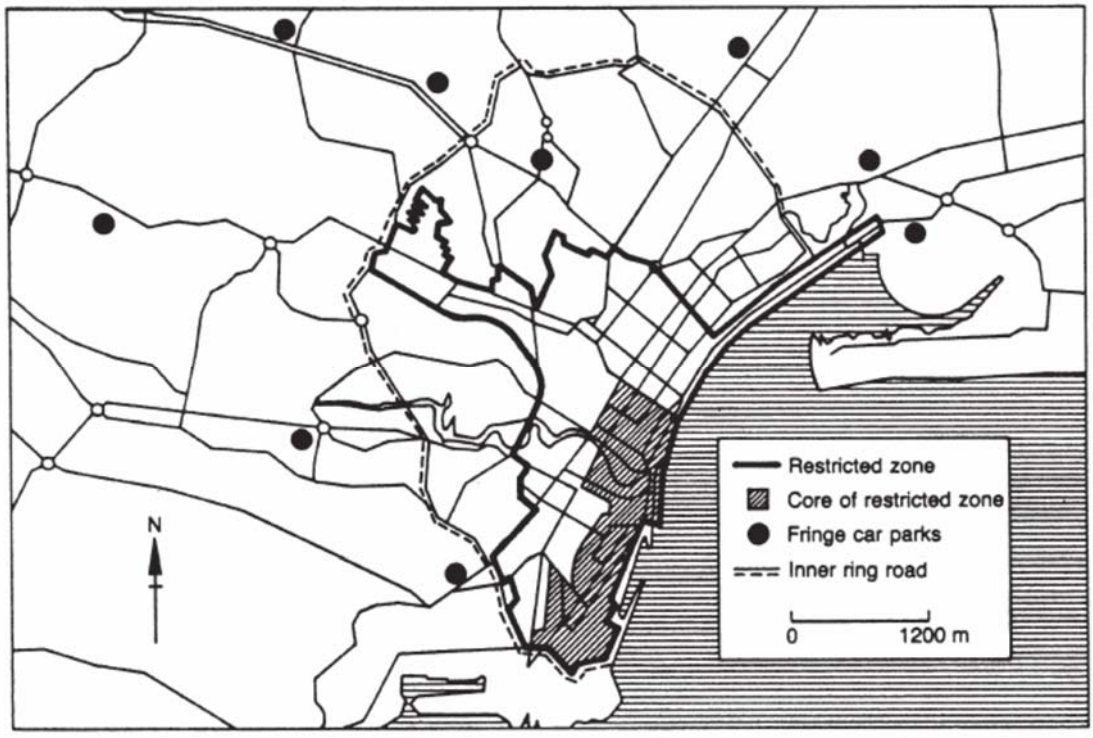
	Kagoshima	Fukuoka	Hiroshima	Osaka	Kyoto	Nagoya	Aomori
Kagoshima	1,400	1,100	850	550	500	350	700
Aomori	2,050	1,800	1,500	1,200	1,150	1,050	
Nagoya	1,050	800	500	200	150		
Kyoto	900	650	350	50			
Osaka	1,000	700	450				
Hiroshima	550	300					
Fukuoka	300						

ที่มา: http://www.japan-guide.com/e/e2354.html (2560)

- การเก็บค่าผ่านทางเพื่อเข้าสู่บริเวณย่านธุรกิจ (Congestion Charge Zone)

o การใช้นโยบายการคิดค่าผ่านทางในประเทศสิงคโปร์

ประเทศสิงคโปร์เป็นประเทศแรกในโลกที่ใช้นโยบายการคิดค่าผ่านทางในการเดินทางเข้าในเขตเมือง เพื่อลดการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลและเพิ่มการใช้รถสาธารณะ ซึ่งบริเวณที่ใช้นโยบายการคิดค่าผ่านทางเรียกว่า “Restricted Zone: RZ” มีพื้นที่ประมาณ 7.25 ตารางกิโลเมตร โดยเป็นย่านธุรกิจใจกลางเมือง สำหรับการใช้นโยบายคิดค่าผ่านทางเป็นการบังคับใช้ในช่วงเวลา 7.30 น. – 18.30 น. สำหรับวันธรรมดา และ ช่วงเวลา 7.30 น. – 14.00 น. สำหรับวันเสาร์ ซึ่งจากการบังคับใช้นโยบายดังกล่าวสามารถลดปริมาณจราจรในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนได้ประมาณ 45% สามารถเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนตัวประมาณ 20% และสามารถลดจำนวนอุบัติเหตุลงได้ 25% (Goh, 2002) อีกทั้งสามารถลดกรดในอากาศ ควันจากท่อไอเสีย และระดับไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศลง 10.7%, 32.2% และ 8.4% ตามลำดับ (RYE, 2006)

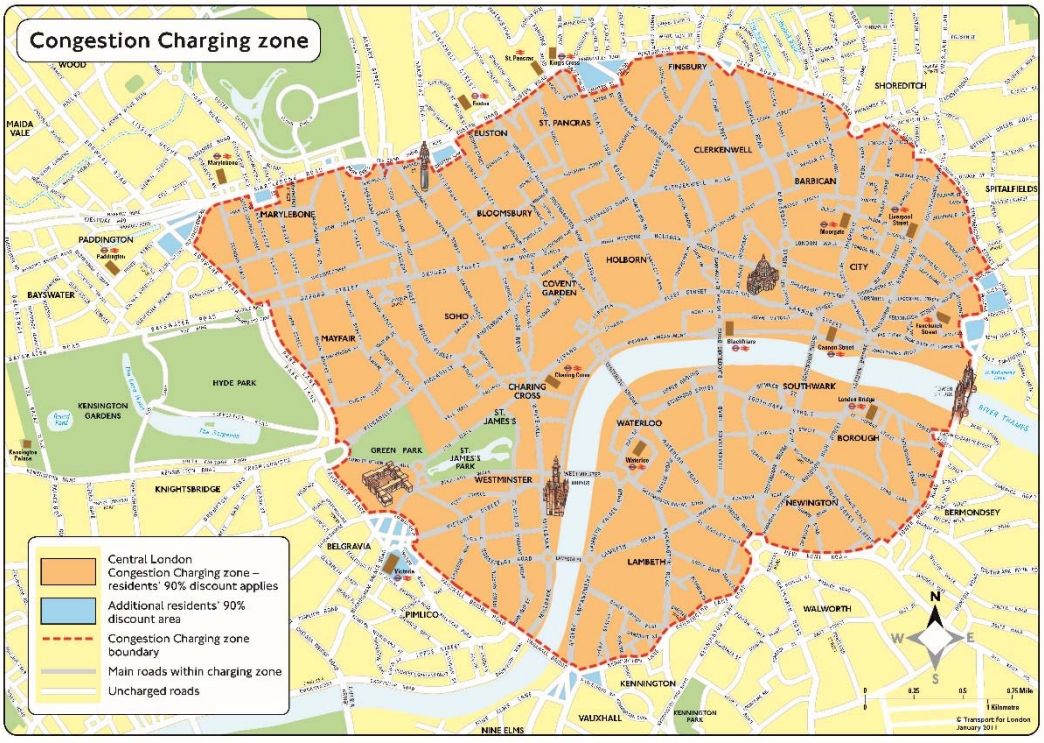


ที่มา: (RYE 2006)

รูปที่ ค-2 พื้นที่ Restricted Zone ในประเทศสิงคโปร์

o การใช้นโยบายการคิดค่าผ่านทางในสหราชอาณาจักร

ลอนดอนเป็นเมืองหลวงของสหราชอาณาจักร มีประชากรกว่า 7 ล้านคน เป็นเจ้าของรถยนต์ประมาณ 263 คันต่อ 1,000 คน ทำให้เกิดการจราจรที่หนาแน่น ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ.2003 จึงได้มีการใช้แผนนโยบายการเก็บค่าผ่านทางในบริเวณย่านธุรกิจใจกลางเมืองลอนดอน ซึ่งจะมีการเก็บค่าผ่านทางในวันจันทร์ – วันศุกร์ ช่วงเวลาระหว่าง 07.00 น. – 18.00 น. โดยหากผู้ขับขี่ต้องการเดินทางในช่วงเวลาดังกล่าวจะมีค่าใช้จ่าย 11.50 ปอนด์ แต่มีการยกเว้นหรือมีส่วนลดสำหรับรถจักรยานยนต์ รถแท็กซี่ที่ได้รับอนุญาต ยานพาหนะที่ใช้โดยคนพิการ รถประจำทาง และรถฉุกเฉิน อีกทั้งผู้ที่อยู่อาศัยในพื้นที่ที่บังคับใช้แผนนโยบายจะมีส่วนลดในการเก็บค่าผ่านทาง 90% สำหรับผลจากการบังคับใช้นโยบายดังกล่าวสามารถลดปริมาณรถที่เข้าใช้พื้นที่ที่บังคับใช้ได้ 20% หลังจากมีการบังคับใช้นโยบาย 1 ปี



ที่มา: https://tfl.gov.uk/modes/driving/congestion-charge/congestion-charge-zone (2017)

รูปที่ ค-3 พื้นที่บังคับใช้แผนนโยบายการคิดค่าผ่านทางในเมืองลอนดอน

ที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/London_congestion_charge (2017)

รูปที่ ค-4 การบังคับใช้นโยบายการคิดค่าผ่านทางในเมืองลอนดอน สหราชอาณาจักร

ภาคผนวก ง

ข้อมูล Solomon benchmark problems

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งประเภท R101

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
1	35.00	35.00	0.00	0.00	230.00	0.00
2	41.00	49.00	10.00	161.00	171.00	10.00
3	35.00	17.00	7.00	50.00	60.00	10.00
4	55.00	45.00	13.00	116.00	126.00	10.00
5	55.00	20.00	19.00	149.00	159.00	10.00
6	15.00	30.00	26.00	34.00	44.00	10.00
7	25.00	30.00	3.00	99.00	109.00	10.00
8	20.00	50.00	5.00	81.00	91.00	10.00
9	10.00	43.00	9.00	95.00	105.00	10.00
10	55.00	60.00	16.00	97.00	107.00	10.00
11	30.00	60.00	16.00	124.00	134.00	10.00
12	20.00	65.00	12.00	67.00	77.00	10.00
13	50.00	35.00	19.00	63.00	73.00	10.00
14	30.00	25.00	23.00	159.00	169.00	10.00
15	15.00	10.00	20.00	32.00	42.00	10.00
16	30.00	5.00	8.00	61.00	71.00	10.00
17	10.00	20.00	19.00	75.00	85.00	10.00
18	5.00	30.00	2.00	157.00	167.00	10.00
19	20.00	40.00	12.00	87.00	97.00	10.00
20	15.00	60.00	17.00	76.00	86.00	10.00
21	45.00	65.00	9.00	126.00	136.00	10.00
22	45.00	20.00	11.00	62.00	72.00	10.00
23	45.00	10.00	18.00	97.00	107.00	10.00
24	55.00	5.00	29.00	68.00	78.00	10.00

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
25	65.00	35.00	3.00	153.00	163.00	10.00
26	65.00	20.00	6.00	172.00	182.00	10.00
27	45.00	30.00	17.00	132.00	142.00	10.00
28	35.00	40.00	16.00	37.00	47.00	10.00
29	41.00	37.00	16.00	39.00	49.00	10.00
30	64.00	42.00	9.00	63.00	73.00	10.00
31	40.00	60.00	21.00	71.00	81.00	10.00
32	31.00	52.00	27.00	50.00	60.00	10.00
33	35.00	69.00	23.00	141.00	151.00	10.00
34	53.00	52.00	11.00	37.00	47.00	10.00
35	65.00	55.00	14.00	117.00	127.00	10.00
36	63.00	65.00	8.00	143.00	153.00	10.00
37	2.00	60.00	5.00	41.00	51.00	10.00
38	20.00	20.00	8.00	134.00	144.00	10.00
39	5.00	5.00	16.00	83.00	93.00	10.00
40	60.00	12.00	31.00	44.00	54.00	10.00
41	40.00	25.00	9.00	85.00	95.00	10.00
42	42.00	7.00	5.00	97.00	107.00	10.00
43	24.00	12.00	5.00	31.00	41.00	10.00
44	23.00	3.00	7.00	132.00	142.00	10.00
45	11.00	14.00	18.00	69.00	79.00	10.00
46	6.00	38.00	16.00	32.00	42.00	10.00
47	2.00	48.00	1.00	117.00	127.00	10.00
48	8.00	56.00	27.00	51.00	61.00	10.00
49	13.00	52.00	36.00	165.00	175.00	10.00

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
50	6.00	68.00	30.00	108.00	118.00	10.00
51	47.00	47.00	13.00	124.00	134.00	10.00
52	49.00	58.00	10.00	88.00	98.00	10.00
53	27.00	43.00	9.00	52.00	62.00	10.00
54	37.00	31.00	14.00	95.00	105.00	10.00
55	57.00	29.00	18.00	140.00	150.00	10.00
56	63.00	23.00	2.00	136.00	146.00	10.00
57	53.00	12.00	6.00	130.00	140.00	10.00
58	32.00	12.00	7.00	101.00	111.00	10.00
59	36.00	26.00	18.00	200.00	210.00	10.00
60	21.00	24.00	28.00	18.00	28.00	10.00
61	17.00	34.00	3.00	162.00	172.00	10.00
62	12.00	24.00	13.00	76.00	86.00	10.00
63	24.00	58.00	19.00	58.00	68.00	10.00
64	27.00	69.00	10.00	34.00	44.00	10.00
65	15.00	77.00	9.00	73.00	83.00	10.00
66	62.00	77.00	20.00	51.00	61.00	10.00
67	49.00	73.00	25.00	127.00	137.00	10.00
68	67.00	5.00	25.00	83.00	93.00	10.00
69	56.00	39.00	36.00	142.00	152.00	10.00
70	37.00	47.00	6.00	50.00	60.00	10.00
71	37.00	56.00	5.00	182.00	192.00	10.00
72	57.00	68.00	15.00	77.00	87.00	10.00
73	47.00	16.00	25.00	35.00	45.00	10.00
74	44.00	17.00	9.00	78.00	88.00	10.00

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
75	46.00	13.00	8.00	149.00	159.00	10.00
76	49.00	11.00	18.00	69.00	79.00	10.00
77	49.00	42.00	13.00	73.00	83.00	10.00
78	53.00	43.00	14.00	179.00	189.00	10.00
79	61.00	52.00	3.00	96.00	106.00	10.00
80	57.00	48.00	23.00	92.00	102.00	10.00
81	56.00	37.00	6.00	182.00	192.00	10.00
82	55.00	54.00	26.00	94.00	104.00	10.00
83	15.00	47.00	16.00	55.00	65.00	10.00
84	14.00	37.00	11.00	44.00	54.00	10.00
85	11.00	31.00	7.00	101.00	111.00	10.00
86	16.00	22.00	41.00	91.00	101.00	10.00
87	4.00	18.00	35.00	94.00	104.00	10.00
88	28.00	18.00	26.00	93.00	103.00	10.00
89	26.00	52.00	9.00	74.00	84.00	10.00
90	26.00	35.00	15.00	176.00	186.00	10.00
91	31.00	67.00	3.00	95.00	105.00	10.00
92	15.00	19.00	1.00	160.00	170.00	10.00
93	22.00	22.00	2.00	18.00	28.00	10.00
94	18.00	24.00	22.00	188.00	198.00	10.00
95	26.00	27.00	27.00	100.00	110.00	10.00
96	25.00	24.00	20.00	39.00	49.00	10.00
97	22.00	27.00	11.00	135.00	145.00	10.00
98	25.00	21.00	12.00	133.00	143.00	10.00
99	19.00	21.00	10.00	58.00	68.00	10.00

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
100	20.00	26.00	9.00	83.00	93.00	10.00
101	18.00	18.00	17.00	185.00	195.00	10.00

ตารางที่ ง-2 ข้อมูลปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งประเภท C101

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
1	40.00	50.00	0.00	0.00	1236.00	0.00
2	45.00	68.00	10.00	912.00	967.00	90.00
3	45.00	70.00	30.00	825.00	870.00	90.00
4	42.00	66.00	10.00	65.00	146.00	90.00
5	42.00	68.00	10.00	727.00	782.00	90.00
6	42.00	65.00	10.00	15.00	67.00	90.00
7	40.00	69.00	20.00	621.00	702.00	90.00
8	40.00	66.00	20.00	170.00	225.00	90.00
9	38.00	68.00	20.00	255.00	324.00	90.00
10	38.00	70.00	10.00	534.00	605.00	90.00
11	35.00	66.00	10.00	357.00	410.00	90.00
12	35.00	69.00	10.00	448.00	505.00	90.00
13	25.00	85.00	20.00	652.00	721.00	90.00
14	22.00	75.00	30.00	30.00	92.00	90.00
15	22.00	85.00	10.00	567.00	620.00	90.00
16	20.00	80.00	40.00	384.00	429.00	90.00
17	20.00	85.00	40.00	475.00	528.00	90.00
18	18.00	75.00	20.00	99.00	148.00	90.00
19	15.00	75.00	20.00	179.00	254.00	90.00
20	15.00	80.00	10.00	278.00	345.00	90.00
21	30.00	50.00	10.00	10.00	73.00	90.00
22	30.00	52.00	20.00	914.00	965.00	90.00
23	28.00	52.00	20.00	812.00	883.00	90.00
24	28.00	55.00	10.00	732.00	777.00	90.00

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
25	25.00	50.00	10.00	65.00	144.00	90.00
26	25.00	52.00	40.00	169.00	224.00	90.00
27	25.00	55.00	10.00	622.00	701.00	90.00
28	23.00	52.00	10.00	261.00	316.00	90.00
29	23.00	55.00	20.00	546.00	593.00	90.00
30	20.00	50.00	10.00	358.00	405.00	90.00
31	20.00	55.00	10.00	449.00	504.00	90.00
32	10.00	35.00	20.00	200.00	237.00	90.00
33	10.00	40.00	30.00	31.00	100.00	90.00
34	8.00	40.00	40.00	87.00	158.00	90.00
35	8.00	45.00	20.00	751.00	816.00	90.00
36	5.00	35.00	10.00	283.00	344.00	90.00
37	5.00	45.00	10.00	665.00	716.00	90.00
38	2.00	40.00	20.00	383.00	434.00	90.00
39	0.00	40.00	30.00	479.00	522.00	90.00
40	0.00	45.00	20.00	567.00	624.00	90.00
41	35.00	30.00	10.00	264.00	321.00	90.00
42	35.00	32.00	10.00	166.00	235.00	90.00
43	33.00	32.00	20.00	68.00	149.00	90.00
44	33.00	35.00	10.00	16.00	80.00	90.00
45	32.00	30.00	10.00	359.00	412.00	90.00
46	30.00	30.00	10.00	541.00	600.00	90.00
47	30.00	32.00	30.00	448.00	509.00	90.00
48	30.00	35.00	10.00	1054.00	1127.00	90.00
49	28.00	30.00	10.00	632.00	693.00	90.00

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
50	28.00	35.00	10.00	1001.00	1066.00	90.00
51	26.00	32.00	10.00	815.00	880.00	90.00
52	25.00	30.00	10.00	725.00	786.00	90.00
53	25.00	35.00	10.00	912.00	969.00	90.00
54	44.00	5.00	20.00	286.00	347.00	90.00
55	42.00	10.00	40.00	186.00	257.00	90.00
56	42.00	15.00	10.00	95.00	158.00	90.00
57	40.00	5.00	30.00	385.00	436.00	90.00
58	40.00	15.00	40.00	35.00	87.00	90.00
59	38.00	5.00	30.00	471.00	534.00	90.00
60	38.00	15.00	10.00	651.00	740.00	90.00
61	35.00	5.00	20.00	562.00	629.00	90.00
62	50.00	30.00	10.00	531.00	610.00	90.00
63	50.00	35.00	20.00	262.00	317.00	90.00
64	50.00	40.00	50.00	171.00	218.00	90.00
65	48.00	30.00	10.00	632.00	693.00	90.00
66	48.00	40.00	10.00	76.00	129.00	90.00
67	47.00	35.00	10.00	826.00	875.00	90.00
68	47.00	40.00	10.00	12.00	77.00	90.00
69	45.00	30.00	10.00	734.00	777.00	90.00
70	45.00	35.00	10.00	916.00	969.00	90.00
71	95.00	30.00	30.00	387.00	456.00	90.00
72	95.00	35.00	20.00	293.00	360.00	90.00
73	53.00	30.00	10.00	450.00	505.00	90.00
74	92.00	30.00	10.00	478.00	551.00	90.00

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
75	53.00	35.00	50.00	353.00	412.00	90.00
76	45.00	65.00	20.00	997.00	1068.00	90.00
77	90.00	35.00	10.00	203.00	260.00	90.00
78	88.00	30.00	10.00	574.00	643.00	90.00
79	88.00	35.00	20.00	109.00	170.00	90.00
80	87.00	30.00	10.00	668.00	731.00	90.00
81	85.00	25.00	10.00	769.00	820.00	90.00
82	85.00	35.00	30.00	47.00	124.00	90.00
83	75.00	55.00	20.00	369.00	420.00	90.00
84	72.00	55.00	10.00	265.00	338.00	90.00
85	70.00	58.00	20.00	458.00	523.00	90.00
86	86.00	60.00	30.00	555.00	612.00	90.00
87	66.00	55.00	10.00	173.00	238.00	90.00
88	65.00	55.00	20.00	85.00	144.00	90.00
89	65.00	60.00	30.00	645.00	708.00	90.00
90	63.00	58.00	10.00	737.00	802.00	90.00
91	60.00	55.00	10.00	20.00	84.00	90.00
92	60.00	60.00	10.00	836.00	889.00	90.00
93	67.00	85.00	20.00	368.00	441.00	90.00
94	65.00	85.00	40.00	475.00	518.00	90.00
95	65.00	82.00	10.00	285.00	336.00	90.00
96	62.00	80.00	30.00	196.00	239.00	90.00
97	60.00	80.00	10.00	95.00	156.00	90.00
98	60.00	85.00	30.00	561.00	622.00	90.00
99	58.00	75.00	20.00	30.00	84.00	90.00

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
100	55.00	80.00	10.00	743.00	820.00	90.00
101	55.00	85.00	20.00	647.00	726.00	90.00

ตารางที่ ง-3 ข้อมูลปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งประเภท RC101

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
1	40.00	50.00	0.00	0.00	240.00	0.00
2	25.00	85.00	20.00	145.00	175.00	10.00
3	22.00	75.00	30.00	50.00	80.00	10.00
4	22.00	85.00	10.00	109.00	139.00	10.00
5	20.00	80.00	40.00	141.00	171.00	10.00
6	20.00	85.00	20.00	41.00	71.00	10.00
7	18.00	75.00	20.00	95.00	125.00	10.00
8	15.00	75.00	20.00	79.00	109.00	10.00
9	15.00	80.00	10.00	91.00	121.00	10.00
10	10.00	35.00	20.00	91.00	121.00	10.00
11	10.00	40.00	30.00	119.00	149.00	10.00
12	8.00	40.00	40.00	59.00	89.00	10.00
13	8.00	45.00	20.00	64.00	94.00	10.00
14	5.00	35.00	10.00	142.00	172.00	10.00
15	5.00	45.00	10.00	35.00	65.00	10.00
16	2.00	40.00	20.00	58.00	88.00	10.00
17	0.00	40.00	20.00	72.00	102.00	10.00
18	0.00	45.00	20.00	149.00	179.00	10.00
19	44.00	5.00	20.00	87.00	117.00	10.00
20	42.00	10.00	40.00	72.00	102.00	10.00
21	42.00	15.00	10.00	122.00	152.00	10.00
22	40.00	5.00	10.00	67.00	97.00	10.00
23	40.00	15.00	40.00	92.00	122.00	10.00
24	38.00	5.00	30.00	65.00	95.00	10.00

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
25	38.00	15.00	10.00	148.00	178.00	10.00
26	35.00	5.00	20.00	154.00	184.00	10.00
27	95.00	30.00	30.00	115.00	145.00	10.00
28	95.00	35.00	20.00	62.00	92.00	10.00
29	92.00	30.00	10.00	62.00	92.00	10.00
30	90.00	35.00	10.00	67.00	97.00	10.00
31	88.00	30.00	10.00	74.00	104.00	10.00
32	88.00	35.00	20.00	61.00	91.00	10.00
33	87.00	30.00	10.00	131.00	161.00	10.00
34	85.00	25.00	10.00	51.00	81.00	10.00
35	85.00	35.00	30.00	111.00	141.00	10.00
36	67.00	85.00	20.00	139.00	169.00	10.00
37	65.00	85.00	40.00	43.00	73.00	10.00
38	65.00	82.00	10.00	124.00	154.00	10.00
39	62.00	80.00	30.00	75.00	105.00	10.00
40	60.00	80.00	10.00	37.00	67.00	10.00
41	60.00	85.00	30.00	85.00	115.00	10.00
42	58.00	75.00	20.00	92.00	122.00	10.00
43	55.00	80.00	10.00	33.00	63.00	10.00
44	55.00	85.00	20.00	128.00	158.00	10.00
45	55.00	82.00	10.00	64.00	94.00	10.00
46	20.00	82.00	10.00	37.00	67.00	10.00
47	18.00	80.00	10.00	113.00	143.00	10.00
48	2.00	45.00	10.00	45.00	75.00	10.00
49	42.00	5.00	10.00	151.00	181.00	10.00

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
50	42.00	12.00	10.00	104.00	134.00	10.00
51	72.00	35.00	30.00	116.00	146.00	10.00
52	55.00	20.00	19.00	83.00	113.00	10.00
53	25.00	30.00	3.00	52.00	82.00	10.00
54	20.00	50.00	5.00	91.00	121.00	10.00
55	55.00	60.00	16.00	139.00	169.00	10.00
56	30.00	60.00	16.00	140.00	170.00	10.00
57	50.00	35.00	19.00	130.00	160.00	10.00
58	30.00	25.00	23.00	96.00	126.00	10.00
59	15.00	10.00	20.00	152.00	182.00	10.00
60	10.00	20.00	19.00	42.00	72.00	10.00
61	15.00	60.00	17.00	155.00	185.00	10.00
62	45.00	65.00	9.00	66.00	96.00	10.00
63	65.00	35.00	3.00	52.00	82.00	10.00
64	65.00	20.00	6.00	39.00	69.00	10.00
65	45.00	30.00	17.00	53.00	83.00	10.00
66	35.00	40.00	16.00	11.00	41.00	10.00
67	41.00	37.00	16.00	133.00	163.00	10.00
68	64.00	42.00	9.00	70.00	100.00	10.00
69	40.00	60.00	21.00	144.00	174.00	10.00
70	31.00	52.00	27.00	41.00	71.00	10.00
71	35.00	69.00	23.00	180.00	210.00	10.00
72	65.00	55.00	14.00	65.00	95.00	10.00
73	63.00	65.00	8.00	30.00	60.00	10.00
74	2.00	60.00	5.00	77.00	107.00	10.00

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
75	20.00	20.00	8.00	141.00	171.00	10.00
76	5.00	5.00	16.00	74.00	104.00	10.00
77	60.00	12.00	31.00	75.00	105.00	10.00
78	23.00	3.00	7.00	150.00	180.00	10.00
79	8.00	56.00	27.00	90.00	120.00	10.00
80	6.00	68.00	30.00	89.00	119.00	10.00
81	47.00	47.00	13.00	192.00	222.00	10.00
82	49.00	58.00	10.00	86.00	116.00	10.00
83	27.00	43.00	9.00	42.00	72.00	10.00
84	37.00	31.00	14.00	35.00	65.00	10.00
85	57.00	29.00	18.00	96.00	126.00	10.00
86	63.00	23.00	2.00	87.00	117.00	10.00
87	21.00	24.00	28.00	87.00	117.00	10.00
88	12.00	24.00	13.00	90.00	120.00	10.00
89	24.00	58.00	19.00	67.00	97.00	10.00
90	67.00	5.00	25.00	144.00	174.00	10.00
91	37.00	47.00	6.00	86.00	116.00	10.00
92	49.00	42.00	13.00	167.00	197.00	10.00
93	53.00	43.00	14.00	14.00	44.00	10.00
94	61.00	52.00	3.00	178.00	208.00	10.00
95	57.00	48.00	23.00	95.00	125.00	10.00
96	56.00	37.00	6.00	34.00	64.00	10.00
97	55.00	54.00	26.00	132.00	162.00	10.00
98	4.00	18.00	35.00	120.00	150.00	10.00
99	26.00	52.00	9.00	46.00	76.00	10.00

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
100	26.00	35.00	15.00	77.00	107.00	10.00
101	31.00	67.00	3.00	180.00	210.00	10.00

ภาคผนวก จ
บทความวิจัยที่นำเสนอและได้รับการตีพิมพ์

บทความงานวิจัยเรื่องที่ 1

ได้นำเสนอและตีพิมพ์บทความการประชุมวิชาการวางแผนภาคและเมือง ประจำปี2559

การประเมินแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้ากับการเก็บค่าผ่านทาง ในการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักร ด้วยแบบจำลอง Multi-Agent Systems

Evaluation of Distribution Center and Road Pricing for Logistics at Chatuchak Market Schemes with Multi-Agent Systems Model

วิศรุต ช่วยจันทร์*, อรกมล วังอภิสิทธิ์**, ศาสตราวุฒิ พลบูรณ์***

บทคัดย่อ:

ตลาดนัดจตุจักรตั้งอยู่ที่กรุงเทพมหานคร เป็นศูนย์รวมของสินค้าหลากหลายประเภท เป็นที่นิยมในการมาซื้อสินค้าทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติ เป็นที่ทราบกันดีว่ากรุงเทพมหานครเป็นเมืองที่มีการจราจรหนาแน่นและมีปัญหาการจราจรติดขัด ทำให้การเดินทางและการขนส่งสินค้าเป็นไปด้วยความยากลำบาก โดยเฉพาะการขนส่งสินค้าเข้าไปยังตลาดนัดจตุจักร ที่ซึ่งมีการกระจายสินค้าไปยังผู้บริโภคเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการขนส่ง อีกทั้งยังทำให้มีการปล่อยมลพิษทางอากาศเพิ่มขึ้น เกิดผลกระทบกับผู้ที่เกี่ยวข้องทุกคน เพื่อศึกษาพฤติกรรมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับระบบการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักรทุกส่วน ทางผู้วิจัยจึงได้มีการประเมินแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้ากับการเก็บค่าผ่านทางสำหรับการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักร ด้วยแบบจำลอง Multi-Agent Systems ซึ่งเป็นการประเมินความสัมพันธ์และความร่วมมือระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับการขนส่งสินค้า ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษานี้จะสามารถตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียแต่ละราย สามารถลดระยะทาง ลดค่าใช้จ่าย และลดปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศในการขนส่งสินค้า โดยจะเป็นการพัฒนาระบบการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักรเพื่อให้เกิดผลกระทบกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียน้อยที่สุด

Abstract:

Chatuchak Market located at the downtown of Bangkok has several goods and products. It is very famous shopping community that many tourists must arrange their plan to visit. Since Bangkok has seriously traffic congestion affecting the drivers, passengers, pedestrians and freight carriers, the delivering activities in the congested area can increase transportation cost, travel time, and air pollution. They results the negative effects to all logistics stakeholders such as freight carriers, shop owners, administrator and customers. The Multi-Agent Systems (MAS) model is an essential tool to evaluate the logistics stakeholder behavior. Therefore, this study has applied MAS model to evaluate the behavior of each stakeholder by applying the distribution center and Chatuchak Market entrance fees as the logistics schemes. The result of this research aims to improve the delivery activities and decrease the effect to all logistics stakeholders.

คำสำคัญ: แบบจำลองตัวแทนหลายระบบ การขนส่งสินค้าในเมือง ตลาดนัดจตุจักร ศูนย์กระจายสินค้า ค่าผ่านทาง

Keyword: Multi Agent Systems, City Logistics, Chatuchak Market, Urban Distribution Center, Road Pricing

* และ ** นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ E-mail: ch.witsarut@gmail.com และ E-mail: wornkamon@eng.psu.ac.th

*** นักวิจัยประจำสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี E-mail: sattrawut@sut.ac.th

บทนำ:

ตลาดนัดจตุจักรเป็นศูนย์รวมสินค้าหลากหลายประเภท เป็นแหล่งการค้าที่นิยมจำนวนมากของทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติ โดยตลาดนัดจตุจักรนั้นตั้งอยู่ที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นเมืองที่มีการจราจรหนาแน่นและมีปัญหาการจราจรที่ติดขัด ทำให้การขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังตลาดนัดจตุจักรนั้นเกิดการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้ามายังตลาดนัดจตุจักรและเพิ่มปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศอีกด้วย

เพื่อศึกษาพฤติกรรมผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุกจักร ทางผู้วิจัยจึงได้มีการประเมินแผนนโยบายการจัดส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักรโดยการเพิ่มนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าและการเก็บอัตราค่าผ่านทางในการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักร ด้วยแบบจำลอง Multi-Agent Systems ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ประเมินความสัมพันธ์ของผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักร

วัตถุประสงค์ของบทความ:

1. เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนในการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักรเมื่อมีการเพิ่มแผนนโยบายการเก็บค่าผ่านทาง
2. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศเนื่องจากการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักร
3. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของผู้ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักร

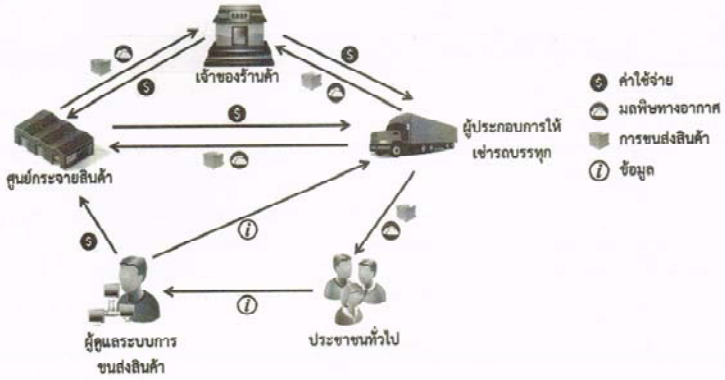
ทบทวนวรรณกรรม

ในปัจจุบัน แบบจำลอง Multi-Agent Systems เป็นเครื่องมือที่ถูกยอมรับในการประเมินแผนนโยบาย โดยนำมาใช้ประเมินการออกแบบและพัฒนาประสิทธิภาพในการขนส่งสินค้าในเขตเมืองเพื่อให้ตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย โดยมีการเพิ่มแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าและมีการเก็บค่าบริการพื้นที่จอดรถ (Wangapisit.O., et al., 2014, pp.472-483) และการเพิ่มแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าและมีการเก็บค่าผ่านทาง (Joel S.E. Teo., et al., 2014, pp.62-74) ซึ่งจะนำค่าใช้จ่ายและการปล่อยมลพิษทางอากาศจากกรณีที่เพิ่มแผนนโยบายมาเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่เพิ่มแผนนโยบาย อีกทั้งยังมีการนำแบบจำลอง Multi-Agent Systems มาประเมินประสิทธิภาพเพื่อให้เกิดความคุ้มทุนในการขนส่งสินค้ามากที่สุดโดยการวิเคราะห์จำนวนเที่ยวในการขนส่งสินค้า เพื่อให้เกิดการเสียเวลาในการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด (Pedro Furtado and Jean Marc Frayret., 2015, pp.436-441)

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า แบบจำลอง Multi-Agent Systems สามารถช่วยในการประเมินแผนนโยบายการขนส่งสินค้าเพื่อปรับปรุงคุณภาพในการขนส่งได้ แต่ในประเทศไทยนั้นมีการศึกษาน้อยมาก ทางผู้วิจัยจึงได้นำแบบจำลอง Multi-Agent Systems มาใช้ประเมินแผนนโยบายการขนส่งสินค้าเพื่อตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับระบบการขนส่งสินค้าและพัฒนาการขนส่งสินค้าให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

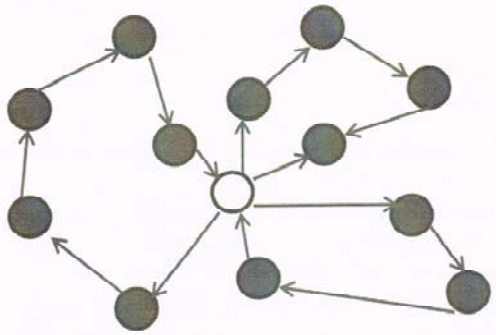
ระเบียบวิธีวิจัย

ในการศึกษานี้จะใช้แบบจำลอง Multi-Agent Systems ในการประเมินระบบการขนส่งสินค้าเมื่อมีการเพิ่มแผนนโยบายต่างๆ ซึ่งเกิดผลกระทบกับผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบการขนส่งสินค้า ทั้งการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า การเพิ่มขึ้นของมลพิษทางอากาศจากการขนส่งสินค้า ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของระบบการขนส่งสินค้าแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบการขนส่งสินค้า

สำหรับกรอบของแบบจำลอง Multi-Agent Systems นั้นประกอบด้วย ปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งแบบมีข้อจำกัดด้านเวลา แบบไม่เคร่งครัด (Vehicle Routing Problem with Soft Time Window : VRPSTW) ซึ่งเป็นการหาเส้นทางการขนส่งโดยพิจารณาเวลาในการขนส่งสินค้าไปยังเป้าหมายโดยที่การขนส่งสินค้านั้นสามารถที่จะช้าหรือเร็วกว่ากำหนดได้บ้างแต่ยังอยู่ในกรอบเวลาที่ยอมรับได้ แต่ก็ยังมีผลกับการจัดเส้นทางในการขนส่งสินค้า และการศึกษาพฤติกรรมของผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของระบบการขนส่งสินค้าด้วย "การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง" (Reinforcement Learning) ซึ่งเป็นการพิจารณาว่าผู้ที่เกี่ยวข้องควรจะมีการกระทำแบบใดเพื่อที่ทำให้ได้ผลสูงที่สุดปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งแบบมีข้อจำกัดด้านเวลา แบบไม่เคร่งครัด (Vehicle Routing Problem with Soft Time Window : VRPSTW) เป็นการพิจารณาเส้นทางที่เหมาะสมตามความสามารถในการขนส้นค้าของรถบรรทุก และพิจารณาว่ารถบรรทุกคันนั้นสามารถไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าใดบ้าง และควรเลือกใช้เส้นทางใดเพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด ซึ่งสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์(Mingyong and Erbao, 2010) ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า

ตารางที่ 1 แสดงสมการในการแก้ปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่ง

สมการ	ขอบเขตตัวแปร	ลำดับสมการ
$\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=0}^{N}\sum_{i=0}^{N} d_{ij}X_{ij}^{k}$		(1)
$\sum_{i=1}^{N} X_{oj}^{k} \le 1$	k = 1.....K	(2)
$\sum_{i=0}^{N} X_{ip}^{k} - \sum_{j=0}^{N} X_{pj}^{k} = 0$	p = 1.....N, k=1.....K	(3)
$\sum_{k=1}^{K} Y_{i}^{k} = 1$	i = 1.....N	(4)
$\sum_{i=1}^{N} q_i Y_{i}^{k} \le a_k$	k = 1.....K	(5)
$Y_{i}^{k} \le \sum_{i=0}^{N} X_{ji}^{k}$	i = 1.....N, k = 1.....K	(6)
$\sum_{k=1}^{K}\sum_{i=0}^{N} X_{ij}^{k} \ge 1$	j = 1.....N	(7)
$U_{i}^{k} \ge U_{j}^{k} + q_i - a_k + \left(a_k * \left(X_{ij}^{k} + X_{ij}^{k}\right)\right) - X_{ij}^{k}\left(q_i + q_i\right)$	k = 1....K, i = 0.....N j = 1.....N เมื่อ $i \neq j$	(8)
$U_{i}^{k} \le a_k - X_{oi}^{k}\left(a_k - q_i\right)$	k = 1...K, i = 1....N	(9)
$U_{i}^{k} \le q_i + \sum_{i=1}^{N} q_j X_{ji}^{k}$	k = 1...K, i = 1....N	(10)

โดยที่ ในสมการที่ (1) จะแสดงต้นทุนการเดินทางจากเมือง i ไปเมือง j โดยยานพาหนะ k สมการที่ (2) เป็นการยืนยันว่ายานพาหนะ k จะเดินทางออกจากศูนย์กระจายสินค้า o และเดินทางไปยังลูกค้า j อย่างน้อย 1 ราย สมการที่ (3) เป็นการยืนยันว่าลูกค้าแต่ละรายจะมียานพาหนะเดินทางเข้าและออกเท่ากัน (1 ครั้ง) สมการที่ (4) เป็นการยืนยันว่าลูกค้าแต่ละรายจะมียานพาหนะมาส่งสินค้าอย่างน้อย 1 คัน สมการที่ (5) เป็นการยืนยันว่ายานพาหนะจะขนส่งสินค้าได้ไม่เกินศักยภาพของการบรรทุกสินค้าของยานพาหนะนั้นๆ สมการ (6) จะยืนยันว่ายานพาหนะจะทำการส่งสินค้าให้กับลูกค้า i ได้ก็ต่อเมื่อยานพาหนะ k เดินทางผ่านลูกค้า i จากเส้นทางของลูกค้า j รายใดรายหนึ่งเท่านั้น และสมการ (7) ยืนยันว่าลูกค้า j ใด ๆ จะมียานพาหนะมาส่งสินค้า อย่างน้อย 1 ครั้งโดยใช้เส้นทางที่ผ่านมาจากลูกค้า i สมการที่ 8 ถึง 10 เป็นสมการที่ใช้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการส่งสินค้าซ้ำกัน

การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning) เป็นเทคนิคการเรียนรู้โดยทำให้เกิดการกระทำในสถานที่หนึ่งตามนโยบายที่กำหนด ซึ่งมีจุดเด่นคือ สามารถเปรียบเทียบประโยชน์ที่ต้องการโดยปราศจากรูปแบบของสภาพแวดล้อม (Strehl, et al., 2006) ซึ่งสมการในการเรียนรู้สามารถแสดงได้ในสมการที่ (11)

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow (1-\alpha)Q(s_t, a_t) + \alpha\left[r_{s_t,a_t} + \gamma \min Q(s_{t+1}, a_{t+1})\right] \quad (11)$$

โดยที่

$Q(s_t, a_t)$ คือ ค่าการกระทำที่เวลา t

$Q(s_{t+1}, a_{t+1})$ คือ ค่าการกระทำที่เวลา t+1

γ คือ อัตราการลดของตัวแทน ($0 < \gamma < 1$)

α คือ อัตราการเรียนรู้ของตัวแทน ($0 < \alpha < 1$)

r_{s_t,a_t} คือ รางวัลที่ได้รับทันทีหลังจากเกิดการกระทำที่เวลา t

การพิจารณาการปล่อยมลพิษทางอากาศในการขนส่งสินค้า จะพิจารณา ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และฝุ่นละอองในอากาศ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (12), (13) และ(14) (NILIM, 2003) โดยสมมติให้รถบรรทุกสินค้าใช้น้ำมันดีเซล

$$NO_x = l_{ij}\left(1.06116 + 0.000213v_{ij}^2 - 0.0246v_{ij} + \frac{16.258}{v_{ij}}\right) \quad (12)$$

$$CO_2 = l_{ij}\left(278.448 + 0.048059v_{ij}^2 - 5.1227v_{ij} + \frac{2347.1}{v_{ij}}\right) \quad (13)$$

$$SPM = l_{ij}\left(0.03442 - 0.000039391v_{ij}^2 + 0.0036777v_{ij} + \frac{1.2754}{v_{ij}}\right) \quad (14)$$

โดยที่

NO_x คือ ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อยมีหน่วยเป็นกรัม

CO_2 คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยมีหน่วยเป็นกรัม

SPM คือ ปริมาณฝุ่นละอองที่ปล่อยมีหน่วยเป็นกรัม

l_{ij} คือ ระยะทางการเดินทางจากจุด i ไปจุด j มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

v_{ij} คือ ความเร็วของรถที่ใช้เดินทางจากจุด i ไปจุด j มีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง

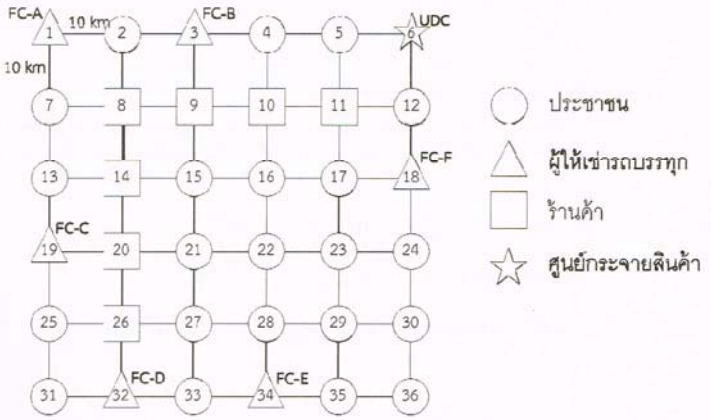
โดยในแบบจำลอง Multi-Agent Systems จะพิจารณาวัตถุประสงค์ของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับระบบการขนส่งสินค้าในเมือง ซึ่งวัตถุประสงค์ของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียแต่ละรายจะประกอบด้วย

1. ผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกในการขนส่งสินค้า
   วัตถุประสงค์ : ค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด
2. เจ้าของร้านค้า
   วัตถุประสงค์ : ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด
3. ประชาชนทั่วไป
   วัตถุประสงค์ : มลพิษทางอากาศที่เกิดจากการขนส่งมีปริมาณน้อยที่สุด
4. ผู้ดูแลระบบการขนส่งสินค้า
   วัตถุประสงค์ : มีพื้นที่ที่ถูกฟ้องร้องจากประชาชนทั่วไปเกี่ยวกับปัญหามลพิษทางอากาศน้อยที่สุด
5. ผู้ดูแลศูนย์กระจายสินค้า
   วัตถุประสงค์ : มีผลกำไรจากการขนส่งสินค้ามากที่สุด

ผลการวิจัย:

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลอง Multi-Agent Systems ทำการประเมินแผนนโยบาย โดยการเพิ่มนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าและการเก็บค่าผ่านทางในการขนส่งสินค้า โดยโครงข่ายถนนในแบบจำลองสามารถแสดงได้ในภาพที่ 3 ซึ่งประกอบด้วย ผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกในการขนส่งสินค้าจำนวน 6 แห่ง ได้แก่ ตำแหน่งที่ 1, 3, 19, 32, 34 และ 18 โดยให้ชื่อ FC-A,

FC-B, FC-C, FC-D, FC-E และ FC-F ตามลำดับ ร้านค้าจำนวน 7 แห่ง ได้แก่ตำแหน่งที่ 8, 9, 10, 11, 14, 20 และ 26 ศูนย์กระจายสินค้าจำนวน 1 แห่ง ได้แก่ ตำแหน่งที่ 6 ส่วนในตำแหน่งที่เหลือจำนวน 22 แห่งนั้นจะเป็นตำแหน่งของประชาชนทั่วไป ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงโครงข่ายในแบบจำลอง

ในแบบจำลอง Multi-Agent Systems ที่ทำการศึกษานั้นจะทำการทำซ้ำจำนวน 360 วัน โดยจะทำการศึกษา 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่มีการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าโดยไม่มีการเก็บค่าใช้บริการ กรณีที่มีการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าและมีการเก็บค่าบริการ และกรณีที่ไม่มีการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

1. กรณีที่มีการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าทั้งกรณีที่มีการเก็บค่าบริการและไม่มีการเก็บค่าบริการ

ขั้นตอนที่ 1 รถบรรทุกของผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกทั้งหมดจะทำการขนส่งสินค้าทั้งหมดไปยังศูนย์กระจายสินค้า

ขั้นตอนที่ 2 ในการกระจายสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้านั้นจะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้า และการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังร้านค้า

ขั้นตอนที่ 3 ทำการเริ่มขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 ในวันถัดไป

2. กรณีที่ไม่มีการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า

ขั้นตอนที่ 1 รถบรรทุกของผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกทั้งหมดจะทำการขนส่งสินค้าไปให้กับลูกค้า

ขั้นตอนที่ 2 รถบรรทุกของผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกจะกลับไปยังร้านค้าเพื่อบรรจุสินค้าและทำการส่งสินค้าไปให้กับลูกค้าต่อไป

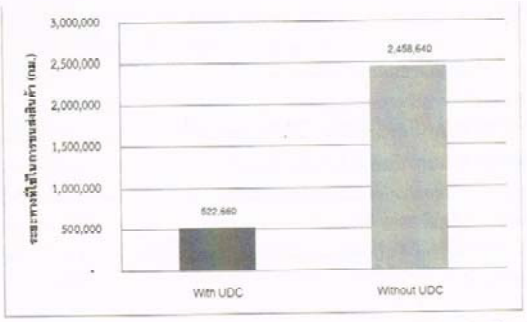
ขั้นตอนที่ 3 ทำการเริ่มขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 ในวันถัดไป

โดยในแบบจำลอง Multi-Agent Systems นี้ จะมีข้อกำหนดในการทำการศึกษา ซึ่งประกอบด้วย

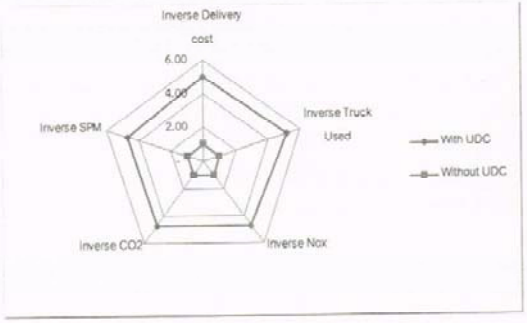
1. เวลาที่สามารถให้บริการขนส่งสินค้าได้ตั้งแต่ 8:00 – 20:00 น.
2. ความจุของรถบรรทุกในการขนส่งสินค้า คือ 200 กล่อง
3. อัตราค่าบริการของศูนย์กระจายสินค้า คือ 10 บาทต่อกล่อง
4. อัตราค่าผ่านทางในการขนส่งสินค้า คือ 10 บาทต่อ 100 กิโลเมตร

จากข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบระยะทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้า ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า และปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศ โดยทำการเปรียบเทียบกรณีที่มีการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า และไม่มีการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า ดังแสดงในภาพที่ 4 และภาพที่ 5 ซึ่งการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้านั้นจะสามารถช่วยลดระยะทางในการขนส่งสินค้า ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่าย

และปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศในการขนส่งสินค้าได้ และได้มีการเปรียบเทียบอัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าในกรณีที่มีการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าทั้งกรณีที่มีการเก็บค่าบริการและไม่มีการเก็บค่าบริการกับกรณีที่ไม่มีการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบระยะทางในการขนส่งสินค้ากรณีใช้ศูนย์กระจายสินค้าและไม่ใช้ศูนย์กระจายสินค้า



ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและการปล่อยมลพิษทางอากาศ กรณีมีการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าและไม่มีการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า

ภาพที่ 6 แสดงอัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า

สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ

บทความนี้เป็นการประเมินประโยชน์ที่ได้รับของผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบการขนส่งสินค้า เมื่อมีการเพิ่มแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าและการเก็บค่าผ่านทางในการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักร โดยมีการเปรียบเทียบระยะทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้า อัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า และปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศจากการขนส่งสินค้า ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า การจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้านั้นสามารถลดระยะทางในการขนส่งสินค้าได้ ซึ่งมีผลทำให้อัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า และปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศจากการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักรลดลง

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นเพียงการนำเสนอแบบจำลองการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักร โดยการเพิ่มแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าและการเก็บค่าผ่านทาง ซึ่งข้อมูลที่ใช้นั้นเป็นข้อมูลสมมติฐาน โดยจากผลการศึกษานั้นแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าและการคิดค่าผ่านทางสามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าได้ 80% และสามารถลดระยะทางในการขนส่งสินค้าได้ 79% อีกทั้งสามารถลดการปล่อยมลพิษทางอากาศซึ่งประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และปริมาณฝุ่นละออง โดยสามารถลดได้ 79% ซึ่งในการศึกษาครั้งต่อไปจะได้เก็บข้อมูลค่าใช้จ่าย ข้อมูลระยะทางในการขนส่งสินค้า รวมถึงปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นข้อมูลจริงของการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักร เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์และนำไปประยุกต์ใช้กับสถานที่จริงต่อไป

บรรณานุกรม:

Joel S.E. Teo, Eiichi Taniguchi, and Ali Gul Qureshi, (2014). Evaluation of Load Factor Control and Urban Freight Road Pricing Joint Schemes with Multi-Agent Systems Learning Models. Procedia-Social and Behavioral Sciences, (125), 62-74.

Mingyong, Lai, and Cao Erbao. (2010). An improved differential evolution algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries and time windows. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 23, 188-195.

NILIM. (2003). Qualitative appraisal index calculations used for computation of CO2, NOx and SPM (in Japanese).

Ornkamon Wangapisit, Eiichi Taniguchi, Joel S.E. Teo and Ali Gul Qureshi. (2014). Multi-Agent Systems Modelling For Evaluating Joint Delivery Systems. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 125, 472-483.

Pedro Furtado and Jean Marc Frayret, (2015). Proposal Sustainabelity Assessment of Resource Sharing in Intermodal Freight Transport with Agent-based Simulation. IFAC-PapersOnline. 48(3), 436-441.

Strehl, Alexander L., Lihong Li, Eric Wiewiora, John Langford, and Michael L. Littman. (2006). Pac model-free reinforcement learning. ICML '06 Proceedings of the 23rd international conference on Machine learning, 881-888.

URPAS 2016

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ เพื่อแสดงว่า

วิศรุต ช่วยจันทร์

ดร.อรกมล วังอภิสิทธิ์

ดร.ศาสตราวุฒิ พลบูรณ์

ผู้เข้าร่วมนำเสนอบทความประชุมวิชาการ

"การประชุมวิชาการการวางแผนภาคและเมือง ประจำปี 2559"

วันที่ 24 มิถุนายน 2559

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูพงษ์ ทองคำสมุทร)

คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทความงานวิจัยเรื่องที่ 2

ได้นำเสนอและตีพิมพ์บทความการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21

การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21
วันที่ 28-30 มิถุนายน 2559 จ.สงขลา

The 21st National Convention on Civil Engineering
28-30 June 2016, Songkhla, THAILAND

การประเมินแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าและการบริหารจัดการพื้นที่จอดรถในการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักร ด้วยแบบจำลอง Multi-Agent Systems

Evaluation of Distribution Center and Car Parking Management for Logistics to Chatuchak Market Schemes with Multi-Agent Systems Model

วิศรุต ช่วยจันทร์[1,*] อรกมล วังอภิสิทธิ์[2] และ ศาสตราวุฒิ พลบุรณ์[3]

[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา
[3] สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอแบบจำลอง Multi-agent Systems เพื่อประเมินความสัมพันธ์และความร่วมมือระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้องในการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภค เมื่อมีการเพิ่มแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าและการบริหารจัดการพื้นที่จอดรถในการขนส่งสินค้า ในการศึกษานี้จะมุ่งเน้นการศึกษาไปที่ตลาดนัดจตุจักรซึ่งตั้งอยู่ที่กรุงเทพมหานคร เนื่องจากตลาดนัดจตุจักรนั้นเป็นที่นิยมเป็นอย่างมากในการมาซื้อสินค้าทั้งจากชาวไทยและชาวต่างชาติ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าในบริเวณดังกล่าวมีการจราจรหนาแน่นและมีปัญหาจราจรติดขัด ทำให้การขนส่งสินค้ามายังตลาดนัดจตุจักรและการหาพื้นที่จอดรถในการส่งสินค้านั้นเป็นไปด้วยความยากลำบาก ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า อีกทั้งยังทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ ส่งผลกระทบต่อผู้ที่เกี่ยวข้องทุกส่วน จากปัญหาดังกล่าวทางผู้วิจัยจึงได้มีการประเมินแผนนโยบายดังกล่าวเพื่อพัฒนาระบบการขนส่งสินค้าต่อไป

คำสำคัญ: Multi-agent systems, การขนส่งสินค้าในเมือง, ตลาดนัดจตุจักร, ศูนย์กระจายสินค้า

Abstract

This paper presents the Multi-agent System (MAS) model for evaluating the logistics stakeholder behavior when the distribution center and car parking management as the logistics schemes have been implement. The study area is at Chatuchak Market located in the downtown of Bangkok. The popularity of Chatuchak Market leads many tourists to arrange their plan to visit. As well-known, Bangkok has a seriously traffic congestion that affect to the driver, passengers, pedestrians and freight carriers. The delivering activities in the congested area especially searching for car parking can increase transportation cost, travel time and air pollution. This problem may affect to all logistics stakeholder such as freight carriers, shop owners, administrator and customers. Therefore, this study aims to minimize the effect to all logistics stakeholders by applying the MAS model to evaluate the effectiveness of the distribution center and car parking management as the logistics schemes to improve the delivery activities.

Keywords: Multi-agent systems, cities logistic, Chatuchak market, Urban distribution center

* ผู้ส่งบทความ (Corresponding author)
E-mail address: ch.witsarut@gmail.com

1. บทนำ

ตลาดนัดจตุจักรตั้งอยู่ที่กรุงเทพมหานคร เป็นศูนย์รวมของสินค้าหลากหลายประเภท เป็นสถานที่ที่นิยมในการมาซื้อสินค้าทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่ากรุงเทพมหานครเป็นเมืองที่มีการจราจรหนาแน่นและมีปัญหาการจราจรติดขัดเป็นอันดับต้นๆ ของโลก ทำให้การเดินทางและการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังตลาดนัดจตุจักรนั้นเป็นไปด้วยความยากลำบาก โดยเฉพาะการขนส่งสินค้าเข้าไปยังตลาดนัดจตุจักร ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการขนส่ง อีกทั้งยังทำให้มีการปล่อยมลพิษทางอากาศเพิ่มขึ้น เกิดผลกระทบกับผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียในการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักรทั้งหมด

เพื่อเป็นการศึกษาพฤติกรรมของผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียในการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักรทั้งหมด ทางผู้วิจัยจึงได้มีการประเมินแผนนโยบายในการจัดส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักร ด้วยแบบจำลอง Multi-Agent Systems ซึ่งเป็นการประเมินความสัมพันธ์และความร่วมมือกันระหว่างผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักร

ดังนั้น ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการศึกษานี้จะสามารถพัฒนาระบบการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักรโดยที่เกิดผลกระทบกับผู้ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งให้น้อยที่สุด

2. วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์สำหรับการศึกษานี้เพื่อศึกษาผลกระทบของการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักรเมื่อมีการจัดการและเพิ่มนโยบาย ซึ่งประกอบด้วย การจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าและการบริหารจัดการพื้นที่จอดรอบริเวณตลาดนัดจตุจักร นอกจากนี้ ยังได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของผู้ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักร โดยใช้แบบจำลอง Multi-Agent Systems ในการประเมินค่าใช้จ่ายของผู้ที่เกี่ยวข้องและการปล่อยมลพิษทางอากาศของการขนส่ง

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การศึกษาการใช้แบบจำลอง Multi-Agent Systems

ปัจจุบัน Multi-Agent Systems เป็นเครื่องมือที่ถูกยอมรับในการนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพการให้บริการการขนส่งสินค้า โดยการแบ่งพื้นที่ที่จะจัดส่งสินค้าและทำการวิเคราะห์ปริมาณความจุของรถบรรทุกสินค้าในแต่ละคัน เพื่อให้เกิดความคุ้มทุนมากที่สุดในการขนส่งสินค้าในแต่ละเที่ยว โดยจะมีการวิเคราะห์จำนวนเที่ยวในการขนส่งสินค้า, จำนวนเที่ยวเปล่าในการขนส่ง, ระยะทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้า รวมถึงการเสียเวลาในการขนส่งสินค้า และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [1]

ทั้งนี้แบบจำลอง Multi-Agent Systems ยังสามารถนำมาประเมินการออกแบบและพัฒนาการประสิทธิภาพในการขนส่งสินค้าในเขตเมือง โดยการตั้งศูนย์กระจายสินค้าเพื่อรับสินค้าจากทางผู้ผลิตและกระจายสินค้าไปยังร้านค้าและผู้บริโภค โดยมีการพิจารณาการเลือกหาเส้นทางและพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้เกิดการคุ้มทุนที่สุดรวมถึงมีการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยมลพิษในอากาศซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด [2]

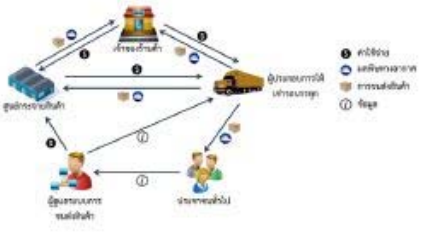
นอกจากนี้ ยังได้มีการใช้แบบจำลอง Multi-Agent Systems ในการประเมินการขนส่งสินค้าในเขตเมือง โดยพิจารณาน้ำหนักและค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้เส้นทางรวมถึงพิจารณาอัตราการปล่อยมลพิษในอากาศซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการเปรียบเทียบ 2 กรณี คือ การพิจารณาค่าผ่านทางและไม่พิจารณาค่าผ่านทางในการขนส่งสินค้า [3]

3.2 การศึกษาการจัดการการขนส่งสินค้าในเขตเมือง

การศึกษาการวางแผนการขนส่งสินค้าในเขตเมือง โดยการตั้งศูนย์กระจายสินค้าในเขตเมือง สามารถแบ่งประเภทลูกค้าออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1.ลูกค้าประเภท Super Market และ Mini Market 2.ลูกค้าประเภทร้านขายของชำ 3.ลูกค้าประเภทโรงแรม โดยจะทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการตั้งศูนย์กระจายสินค้าในเขตเมืองและการขนส่ง นโยบายและข้อกฎหมาย [4]

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

แบบจำลอง Multi-Agent Systems เป็นแบบจำลองที่ใช้เพื่อประเมินระบบการขนส่งซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบจากนโยบายต่างๆ กับผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบการขนส่ง ไม่ว่าจะเป็นผลกระทบจากมลพิษทางอากาศ ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ซึ่งสุดท้ายก็จะส่งผลกระทบไปยังผู้บริโภค ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบการขนส่งสินค้าไม่ว่าจะเป็น ผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกสินค้า ผู้ดูแลศูนย์กระจายสินค้า เจ้าของร้านค้า ประชาชนทั่วไป ผู้ดูแลระบบการขนส่ง (รูปที่ 1) โดยผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบการขนส่งแต่ละรายจะมีปฏิสัมพันธ์กัน คือ ผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกสินค้าจะมีการขนส่งสินค้าให้เจ้าของร้านค้า ประชาชนทั่วไป และศูนย์กระจายสินค้า อีกทั้งมีการปล่อยมลพิษทางอากาศให้กับเจ้าของร้านค้ากับประชาชนทั่วไป เจ้าของร้านค้าจะมีค่าใช้จ่ายให้กับผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกสินค้าและผู้ดูแลศูนย์กระจายสินค้า ประชาชนทั่วไปจะมีการร้องเรียนเรื่องมลพิษทางอากาศกับผู้ดูแลระบบการขนส่งสินค้า ผู้ดูแลระบบการขนส่งสินค้าจะมีการจูงใจให้ผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าและให้การสนับสนุนเงินทุนกับผู้ดูแลศูนย์กระจายสินค้า ผู้ดูแลศูนย์กระจายสินค้าจะมีการขนส่งสินค้ากับการปล่อยมลพิษทางอากาศให้กับเจ้าของร้านค้าและมีค่าใช้จ่ายให้กับผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกสินค้า ซึ่งแบบจำลอง Multi-Agent Systems จะพิจารณาวัตถุประสงค์ของแต่ละผู้มีส่วนได้ส่วนเสียแต่ละราย



รูปที่ 1 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบการขนส่งสินค้าในการออกแบบแบบจำลอง Multi-Agent Systems

สำหรับกรอบของแบบจำลอง Multi-Agent Systems นั้นประกอบด้วย ปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งแบบมีข้อจำกัดด้านเวลา แบบไม่เคร่งครัด (Vehicle Routing Problem with Soft Time Window : VRPSTW) ซึ่งเป็นการหาเส้นทางการขนส่งโดยพิจารณาเวลาในการขนส่งสินค้าไปยังเป้าหมายโดยที่การขนส่งสินค้านั้นสามารถที่จะช้าหรือเร็วกว่ากำหนดได้บ้างแต่ยังอยู่ในกรอบเวลาที่ยอมรับได้ แต่ก็ยังมีผลกับการจัดเส้นทางในการขนส่งสินค้า และการศึกษาพฤติกรรมของผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของระบบการขนส่งสินค้าด้วย "การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง" (Reinforcement Learning) ซึ่งเป็นการพิจารณาว่าผู้ที่เกี่ยวข้องควรจะมีการกระทำแบบใดเพื่อที่ทำให้ได้ผลสูงที่สุด

4.1 ปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งแบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแต่ไม่เคร่งครัดมากนัก

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง เป็นการพิจารณาจัดเส้นทางที่เหมาะสมตามศักยภาพของรถบรรทุกว่าควรจะบรรทุกสินค้าจำนวนเท่าไหร่ รถบรรทุกคันนั้นจะไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าใดบ้าง และใช้เส้นทางใดในการขนส่งสินค้าเพื่อหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดในการขนส่งสินค้า โดย

กำหนดว่ามีเซตของลูกค้า N = {1,2,...,n} ซึ่งกระจายอยู่ตามพิกัดต่างๆ และมีระยะทางระหว่างเมือง i ไป j เท่ากับ d_{ij} หรือเวลาที่ใช้ในการเดินทาง t_{ij} เมื่อ i และ j อยู่ในเซต N และ $i \neq j$ ถ้า $d_{ij} = d_{ji}$ จะเรียกว่าปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบสมมาตร หาก $d_{ij} \neq d_{ji}$ จะเรียกว่าปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบไม่สมมาตร นอกจากนี้ กำหนดให้ q_i เป็นปริมาณความต้องการ ของลูกค้า i เมื่อ i =1, 2,..., N และ i = 0 เมื่อ i เป็นศูนย์กระจายสินค้าหรือจุดส่งสินค้า

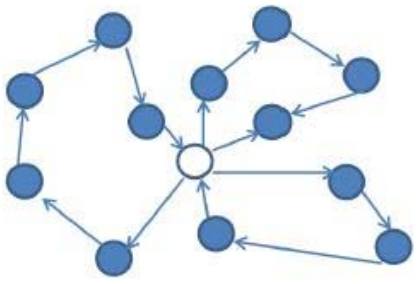
รถบรรทุกจะเดินทางออกจากเมือง 0 หรือศูนย์กระจายสินค้า เดินทางไปรับสินค้าหรือส่งสินค้าตามจุด i และสิ้นสุดการเดินทางที่จุด 0 อีกครั้งหนึ่ง โดยรถบรรทุกแต่ละคันสามารถบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินความจุของตัวรถบรรทุก โดยกำหนดให้มีรถบรรทุกจำนวน V คัน เมื่อ V = {1, 2,..., V} ซึ่งรถบรรทุกคันที่ k สามารถส่งสินค้าได้แตกต่างกันโดยกำหนดให้จำนวนที่สามารถส่งสินค้าได้มีค่าเป็น a_k สมมติให้ $R_k = \{r_k(1),..., r_k(n_k)\}$ แทนเส้นทางที่มีการเดินทางของรถคันที่ k, $r_k(j)$ แทนเมืองที่ j ที่รถหรือเส้นทางที่ k เดินทางผ่าน n_k คือจำนวนเมืองที่มีการเดินทางผ่านโดยรถหรือเส้นทางที่ k และสมมุติให้ทุกเส้นทางจะต้องสิ้นสุดการเดินทางที่ศูนย์กระจายสินค้า 0 หรือ $r_k(n_k+1)=0$

จากข้อมูลดังกล่าว สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง [5] ได้ดังแสดงในตารางที่ 1

สมการที่ (1) แสดงต้นทุนการเดินทางจากเมือง i ไปเมือง j โดยยานพาหนะ k สมการที่ (2) เป็นการประกันว่า ยานพาหนะ k จะเดินทางออกจากศูนย์กระจายสินค้า 0 และเดินทางไปยังลูกค้า j อย่างน้อย 1 ราย สมการที่ (3) เป็นสมการที่รับประกันว่าลูกค้ารายหนึ่งๆ จะมีรถเดินทางเข้าและออกเท่ากัน (1 ครั้ง) สมการที่ (4) เป็นการรับประกันว่าลูกค้าจะมีรถมาส่งสินค้าอย่างน้อย 1 คัน สมการที่ (5) เป็นการประกันว่ารถบรรทุกจะขนส่งสินค้าได้ไม่เกินศักยภาพของการบรรทุกสินค้าของรถบรรทุก สมการ (6) รับประกันว่ารถจะส่งสินค้ากับลูกค้า i ได้ก็ต่อเมื่อรถบรรทุก k - เดินทางผ่านลูกค้า i จากเส้นทางของลูกค้า j รายใดรายหนึ่งเท่านั้น และสมการ (7) รับประกันว่าลูกค้า j ใด ๆ จะมีรถบรรทุกมาส่งสินค้า อย่างน้อย 1 ครั้งโดยใช้เส้นทางที่ผ่านมาจากลูกค้า i สมการที่ 8 ถึง 10 เป็นสมการเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดหัวย่อย ซึ่งตัวอย่างการจัดเส้นทางการขนส่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่2

ตารางที่ 1 สมการในการแก้ปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่ง

สมการ	ขอบเขตตัวแปร	ลำดับสมการ
$\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=0}^{N}\sum_{i=0}^{N} d_{ij} X_{ij}^{k}$		(1)
$\sum_{i=1}^{N} X_{oj}^{k} \leq 1$	k = 1.....K	(2)
$\sum_{i=0}^{N} X_{ip}^{k} - \sum_{j=0}^{N} X_{pj}^{k} = 0$	p = 1.....N, k=1.....K	(3)
$\sum_{k=1}^{K} Y_{i}^{k} = 1$	i = 1.....N	(4)
$\sum_{i=1}^{N} q_i Y_{i}^{k} \leq a_k$	k = 1.....K	(5)
$Y_{i}^{k} \leq \sum_{i=0}^{N} X_{ji}^{k}$	i = 1.....N, k = 1.....K	(6)
$\sum_{k=1}^{K}\sum_{i=0}^{N} X_{ij}^{k} \geq 1$	j = 1.....N	(7)
$U_{i}^{k} \geq U_{j}^{k} + q_i - a_k + \left(a_k * \left(X_{ij}^{k} + X_{ji}^{k}\right)\right) - X_{ji}^{k}\left(q_i + q_j\right)$	k = 1....K, i = 0.....N j = 1.....N เมื่อ i ≠ j	(8)
$U_{i}^{k} \leq a_k - X_{oi}^{k}\left(a_k - q_i\right)$	k = 1...K, i = 1....N	(9)
$U_{i}^{k} \leq q_i + \sum_{i=1}^{N} q_j X_{ji}^{k}$	k = 1...K, i = 1....N	(10)



รูปที่ 2 ตัวอย่างการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า

4.2 ทฤษฎี Q-learning

Q-learning คือเทคนิคการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning) โดยการเรียนรู้ค่าการกระทำที่ทำให้เกิดประโยชน์ที่ต้องการหลังจากทำให้เกิดการกระทำในสถานที่หนึ่งตามนโยบายที่กำหนด จุดเด่นของทฤษฎี Q-learning คือสามารถเปรียบเทียบประโยชน์ที่ต้องการของการกระทำที่มีอยู่โดยปราศจากรูปแบบของสภาพแวดล้อม [6] ซึ่งสมการในการเรียนรู้ของทฤษฎี Q-learning สามารถแสดงได้ในสมการที่ (11)

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow (1-\alpha)Q(s_t, a_t) + \alpha\left[r_{s_t,a_t} + \gamma min Q(s_{t+1}, a_{t+1})\right] \quad (11)$$

โดยที่

$Q(s_t, a_t)$ คือ ค่าการกระทำที่เวลา t

$Q(s_{t+1}, a_{t+1})$ คือ ค่าการกระทำที่เวลา t+1

γ คือ อัตราการลดของตัวแทน (0 < γ < 1)

α คือ อัตราการเรียนรู้ของตัวแทน (0 < α < 1)

r_{s_t,a_t} คือ รางวัลที่ได้รับทันทีหลังจากเกิดการกระทำที่เวลา t

และอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 1 หมายถึง ตัวแทนจะพิจารณาข้อมูลที่เป็นปัจจุบันมากที่สุด หากเท่ากับ 0 หมายถึง ตัวแทนไม่เกิดการเรียนรู้ ส่วนอัตราการลดของตัวแทนเท่ากับ 1 หมายถึง ตัวแทนจะพิจารณารางวัลในระยะยาว ส่วนถ้าเท่ากับ 0 หมายถึง ตัวแทนจะเกี่ยวข้องกับรางวัลปัจจุบันอย่างเดียว

การพิจารณาการปล่อยมลพิษทางอากาศในการขนส่งสินค้าเพื่อประเมินประโยชน์ของการใช้ศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งในกรณีนี้เป้าหมายในการขนส่งและการบริหารจัดการพื้นที่จอดรถจะเป็นนโยบายในการพิจารณา

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และฝุ่นละอองในอากาศ ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษในอากาศนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ (12), (13) และ (14) โดยสมมติให้รถบรรทุกนั้นใช้น้ำมันดีเซล [7]

$$NO_x = l_{ij}\left(1.06116 + 0.000213v_{ij}^2 - 0.0246v_{ij} + \frac{16.258}{v_{ij}}\right) \quad (12)$$

$$CO_2 = l_{ij}\left(278.448 + 0.048059v_{ij}^2 - 5.1227v_{ij} + \frac{2347.1}{v_{ij}}\right) \quad (13)$$

$$SPM = l_{ij}\left(0.03442 - 0.000039391v_{ij}^2 + 0.0036777v_{ij} + \frac{1.2754}{v_{ij}}\right) \quad (14)$$

โดยที่

NO_x คือ ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อย มีหน่วยเป็นกรัม

CO_2 คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อย มีหน่วยเป็นกรัม

SPM คือ ปริมาณฝุ่นละอองที่ปล่อย มีหน่วยเป็นกรัม

l_{ij} คือ ระยะทางการเดินทางจากจุด i ไปจุด j มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

v_{ij} คือ ความเร็วของรถที่ใช้เดินทางจากจุด i ไปจุด j มีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง

4.3 ผู้เกี่ยวข้องกับระบบการขนส่งสินค้าในเมือง

ในแบบจำลอง Multi-Agent Systems ผู้เกี่ยวข้องกับระบบการขนส่งสินค้าในเมืองจะมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- ผู้ให้เช่ารถบรรทุกในการขนส่งสินค้า
  วัตถุประสงค์ : ค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด
- เจ้าของร้านค้า
  วัตถุประสงค์ : ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด
- ประชาชน
  วัตถุประสงค์ : มลพิษทางอากาศที่เกิดจากการขนส่งมีปริมาณน้อยที่สุด
- ผู้ดูแลระบบการขนส่งสินค้า
  วัตถุประสงค์ : มีพื้นที่ที่ถูกฟ้องร้องจากประชาชนทั่วไปเกี่ยวกับปัญหามลพิษทางอากาศน้อยที่สุด
- ผู้ดูแลศูนย์กระจายสินค้า
  วัตถุประสงค์ : มีผลกำไรจากการขนส่งสินค้ามากที่สุด

5. การวิเคราะห์แบบจำลอง

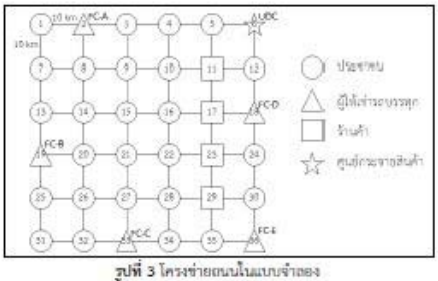
จากรูปที่ 3 แสดงโครงข่ายถนนที่ใช้ในการศึกษานี้ ซึ่งประกอบด้วยผู้ประกอบการให้เช่ารถบรรทุกในการขนส่งสินค้า 5 แห่งชื่อ A, B, C, D และ E ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่จุด 2, 19, 33, 18, 36 ส่วนจุดที่ 11, 17, 23 และ29 คือ ตำแหน่งของร้านค้า ส่วนจุดอื่นๆ นั้นเป็นตำแหน่งของประชาชนทั่วไป

ในแบบจำลอง Multi-Agent Systems จะใช้การจัดเส้นทางการขนส่งโดยวิธี heuristic ในการหาเส้นทางในการขนส่งสินค้า และจะทำการทำซ้ำจำนวน 360 วัน จากกรณีศึกษา 2 กรณี ได้แก่ กรณีมีการตั้งศูนย์กระจายสินค้าและกรณีไม่มีการตั้งศูนย์กระจายสินค้า

5.1 กรณีมีการตั้งศูนย์กระจายสินค้า

กรณีมีการตั้งศูนย์กระจายสินค้าจะมีขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 รถบรรทุกของผู้ให้เช่าทั้งหมดจะทำการขนส่งสินค้าทั้งหมดไปยังศูนย์กระจายสินค้า



รูปที่ 3 โครงข่ายถนนในแบบจำลอง

- ขั้นตอนที่ 2 การกระจายสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าจะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การขนส่งโดยรถบรรทุกของศูนย์กระจายสินค้าโดยขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังร้านค้า และการขนส่งสินค้าโดยใช้รถบรรทุกจากร้านค้าไปยังลูกค้า
- ขั้นตอนที่ 3 ทำการเริ่มขั้นตอนที่ 1 และ 2 อีกครั้งเพื่อหาค่าของวันถัดไป

5.2 กรณีไม่มีการตั้งศูนย์กระจายสินค้า

กรณีไม่มีการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าจะมีขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 รถบรรทุกของผู้ให้เช่าจะขนส่งสินค้าไปให้กับลูกค้า
- ขั้นตอนที่ 2 รถบรรทุกจะกลับไปยังร้านค้าเพื่อบรรทุกสินค้าและไปส่งยังกลุ่มลูกค้าต่อไป
- ขั้นตอนที่ 3 ทำซ้ำขั้นตอนที่1 และ2 ในวันต่อไป

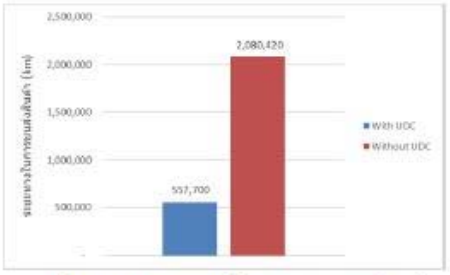
5.3 ข้อกำหนดเบื้องต้นของแบบจำลอง

- เวลาในการให้บริการขนส่งสินค้าตั้งแต่ 8:00 – 20:00 น.
- ความจุรถบรรทุกในการขนส่งสินค้า คือ 200 กล่อง
- อัตราใช้บริการของศูนย์กระจายสินค้า คือ 10 บาทต่อกล่อง
- อัตราการเก็บค่าที่จอดรถ 20 บาทต่อชั่วโมง

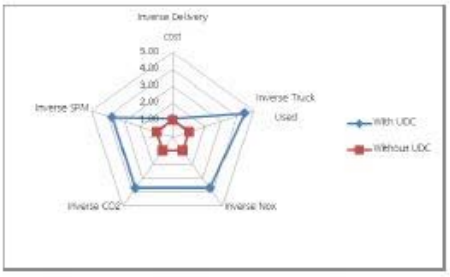
6. ผลการวิเคราะห์

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาโดยการเพิ่มนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าและการเก็บค่าที่จอดรถเพื่อนำมาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและการปล่อยมลพิษทางอากาศกับกรณีที่ไม่มีการเพิ่มแผนนโยบาย ซึ่งรูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบระยะทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้ากรณีที่ใช้ศูนย์กระจายสินค้าและไม่ใช่ศูนย์กระจายสินค้า และรูปที่ 5 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและการปล่อยมลพิษทางอากาศระหว่างการใช้ศูนย์กระจายสินค้าและไม่ใช้ศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ศูนย์กระจายสินค้านั้นสามารถลดระยะทาง ค่าใช้จ่าย และลดการปล่อยมลพิษทางอากาศในการขนส่งสินค้าของได้เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการใช้งานศูนย์กระจายสินค้า และจากรูปที่ 6 แสดงอัตราค่าใช้จ่ายในการใช้งานศูนย์กระจายสินค้าซึ่งจากการวิเคราะห์จำนวนวันทั้งสิ้น 360 วัน และเปรียบเทียบทั้งสิ้น 3 กรณี ได้แก่ กรณีไม่มีการใช้งานศูนย์กระจายสินค้า กรณีใช้งานศูนย์กระจายสินค้าโดยไม่คิดค่าใช้จ่าย และกรณีที่มีการเก็บค่าเช่าในการใช้งานศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งมีอัตราค่าเช่า 10 บาทต่อกล่อง

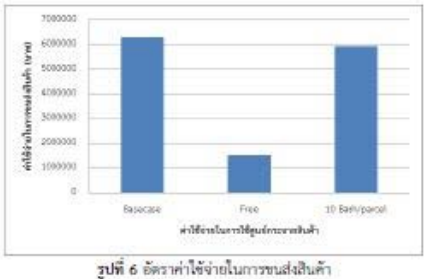
จากผลการศึกษาข้างต้น จะเห็นว่าการใช้บริการศูนย์กระจายสินค้าและการเก็บค่าบริการที่จอดรถ เป็นนโยบายที่สามารถช่วยลดปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศและสามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังตลาดนัดจตุจักรได้ อีกทั้งการใช้บริการศูนย์กระจายสินค้านั้นยังเป็นการช่วยลดปัญหาการจราจรหนาแน่นบริเวณตลาดนัดจตุจักรได้ เนื่องจากรถบรรทุกจากผู้ผลิตไม่ต้องเดินทางไปส่งสินค้าที่ตลาดนัดจตุจักร ทั้งนี้หากจะนำแบบจำลองนี้ไปประยุกต์ใช้งานจริง ควรจะพิจารณาในส่วนของเวลาที่ใช้ในการลงสินค้า เนื่องจากอาจมีผลกับอัตราค่าเช่าพื้นที่จอดรถทำให้อัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าเปลี่ยนไป



รูปที่ 4 เปรียบเทียบระยะทางที่ใช้ในการขนส่งระหว่างการใช้ศูนย์กระจายสินค้าและไม่ใช่ศูนย์กระจายสินค้า



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและการปล่อยมลพิษทางอากาศระหว่างการใช้ศูนย์กระจายสินค้าและไม่ใช้ศูนย์กระจายสินค้า



รูปที่ 6 อัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า

7. สรุปผลการวิเคราะห์

บทความนี้เป็นการประเมินประโยชน์ที่เกิดจากการใช้ศูนย์กระจายสินค้า โดยมีการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าและการปล่อยมลพิษทางอากาศซึ่งเกิดจากการขนส่งเปรียบเทียบกับกรณีไม่ใช้ศูนย์กระจายสินค้า เพื่อหาค่าใช้จ่ายและปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศในการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักรที่น้อยที่สุด ซึ่งในการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้านั้นสามารถลดค่าใช้จ่ายและปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศในการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักรได้

ในการศึกษานี้เป็นเพียงการเสนอตัวอย่างการสร้างแบบจำลองการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักรโดยข้อมูลที่ใช้นั้นยังไม่ใช่ข้อมูลจริงเป็นเพียงข้อมูลที่สมมติเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองเท่านั้น ซึ่งในการศึกษาครั้งต่อไปจะได้เก็บข้อมูลจริงของการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักร เช่น ข้อมูลจำนวนร้านค้าในตลาดนัดจตุจักร ข้อมูลระยะทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตมายังร้านค้าในตลาดนัดจตุจักร เป็นต้น เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความถูกต้องยิ่งขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสถานที่จริงต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Pedro Furtado and Jean Marc Frayret, "Proposal Sustainabelity Assessment of Resource Sharing in Intermodal Freight Transport with Agent-based Simulation." IFAC-PapersOnline.48-3, 2015, pp.436-441.

[2] Ornkamon Wangapisit, Eiichi Taniguchi, Joel S.E. Teo and Ali Gul Qureshi. "Multi-Agent Systems Modelling For Evaluating Joint Delivery Systems." Procedia-Social and Behavioral Sciences.125, 2014, pp.472-483.

[3] Joel S.E. Teo, Eiichi Taniguchi, and Ali Gul Qureshi, "Evaluation of Load Factor Control and Urban Freight Road Pricing Joint Schemes with Multi-Agent Systems Learning Models." Procedia-Social and Behavioral Sciences.125, 2014, pp.62-74.

[4] Eleonora Morganti and Jesus Gonzalez Feliu., "City logistics for perishable products. The case of the Parma's Food hub." Case Studies on Transport Policy.3, 2015, pp.120-128.

[5] Mingyong, Lai, and Cao Erbao. (2010). "An improved differential evolution algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries and time windows." *Engineering Applications of Artificial Intelligence., 23*. 188-195.

[6] Strehl, Alexander L., Lihong Li, Eric Wiewiora, John Langford, and Michael L. Littman. (2006). "Pac model-free reinforcement learning." *ICML '06 Proceedings of the 23rd international conference on Machine learning*. 881-888.

[7] NILIM. (2003). "Qualitative appraisal index calculations used for computation of CO_2, NOx and SPM (in Japanese)."

The 21st National Convention on Civil Engineering

This is to certify that

WITSARUT CHUAYJAN

has successfully participated in the 21st NCCE for the paper titled

Evaluation of Distribution Center and Car Parking Management for Logistics to Chatuchak Market Schemes with Multi-Agent Systems Model

BP Samila Beach Hotel, Songkhla, Thailand
June 28-30, 2016

Prof.Dr.Suchatvee Suwansawat President of EIT	Assoc. Prof. Charoon Charoennatkul Dean of Engineering Faculty, RMUTSV	Assist. Prof. Pornarai Boonrasi Chairperson of 21st NCCE Committee

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายวิศรุต ช่วยจันทร์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5810120046

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	2556

ทุนการศึกษา

ทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์ ปีการศึกษา 2558

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

วิศรุต ช่วยจันทร์. อรกมล วังอภิสิทธิ์. และศาสตราวุฒิ พลบูรณ์. 2559. *"การประเมินแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้ากับการเก็บค่าผ่านทางในการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักร ด้วยแบบจำลอง Multi-Agent Systems"* การประชุมวิชาการด้านการวางแผนภาคและเมือง ประจำปี 2559 วันที่ 24 มิถุนายน 2559 ณ โรงแรมเซ็นทาราและคอนเวนชันเซนเตอร์. จังหวัดขอนแก่น

วิศรุต ช่วยจันทร์. อรกมล วังอภิสิทธิ์. และศาสตราวุฒิ พลบูรณ์. 2559. *"การประเมินแผนนโยบายการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าและการบริหารจัดการพื้นที่จอดรถในการขนส่งสินค้าไปยังตลาดนัดจตุจักร ด้วยแบบจำลอง Multi-Agent Systems"* การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21 วันที่ 28 - 30 มิถุนายน 2559 ณ โรงแรม บีพีสมิหลา บีช สงขลา จังหวัดสงขลา.