



การจัดเส้นทางและการจัดรถขนส่งสาธารณะโดยใช้แบบจำลอง  
ทางคณิตศาสตร์: กรณีศึกษาจังหวัดเชียงราย

**PUBLIC TRANSPORT ROUTING AND SCHEDULING USING  
MATHEMATICAL MODELS: A CHIANG RAI CASE STUDY**

นิติศักดิ์ เจริญรูป

ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2553

©ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

การจัดเส้นทางและการจัดรถขนส่งสาธารณะโดยใช้แบบจำลอง  
ทางคณิตศาสตร์: กรณีศึกษาจังหวัดเชียงราย

PUBLIC TRANSPORT ROUTING AND SCHEDULING USING  
MATHEMATICAL MODELS: A CHIANG RAI CASE STUDY

นิติศักดิ์ เจริญรูป

ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

การจัดเส้นทางและการจัดรถขนส่งสาธารณะโดยใช้แบบจำลอง  
ทางคณิตศาสตร์: กรณีศึกษาจังหวัดเชียงราย  
PUBLIC TRANSPORT ROUTING AND SCHEDULING USING  
MATHEMATICAL MODELS: A CHIANG RAI CASE STUDY

นิติศักดิ์ เจริญรูป

คุณฉันทน์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ

2553

คณะกรรมการสอบคุณฉันทน์

.....ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญส่ง สัตโยภาส)

.....กรรมการ

(ดร. อนันต์ อึ้งวิเศษพันธ์)

.....กรรมการ

(ดร. รุ่งโรจน์ นิลทอง)

.....กรรมการ

(ดร. ปิยะนุช ศิริวัฒน์)

©ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

|                       |                                                                                           |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อเรื่องคุณูปนิพนธ์ | การจัดเส้นทางและการจัดรถขนส่งสาธารณะโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์: กรณีศึกษาจังหวัดเชียงราย |
| ชื่อผู้เขียน          | นิติศักดิ์ เจริญรูป                                                                       |
| หลักสูตร              | ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ)                                                  |
| อาจารย์ที่ปรึกษา      | ดร. อนันต์ อึ้งวิเศษพันธ์<br>รองศาสตราจารย์ ดร. บุญส่ง สัตย์โภาส<br>ดร. รุ่งโรจน์ นิลทอง  |

### บทคัดย่อ

จังหวัดเชียงรายเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีอัตราการใช้นานพาหนะส่วนบุคคลในเขตเมืองสูง ส่งผลให้เกิดการจราจรติดขัดในเขตเมือง โดยเฉพาะบริเวณสถานศึกษาและย่านธุรกิจ ซึ่งสร้างปัญหาด้านการจราจร ด้านสิ่งแวดล้อม และการสิ้นเปลืองพลังงาน ระบบขนส่งสาธารณะเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาได้ อย่างไรก็ตามรูปแบบของระบบขนส่งสาธารณะที่ดี ยกตัวอย่างเช่น เส้นทางและการจัดตารางการให้บริการ ควรได้รับการออกแบบเป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพ

การศึกษานี้ได้ศึกษาปัญหาการออกแบบเส้นทางและจัดตารางการให้บริการรถโดยสารสาธารณะในรูปคณิตศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์การศึกษา 3 ข้อ คือ (1) เพื่อออกแบบเส้นทางและจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (2) เพื่อกำหนดโครงข่ายเส้นทางให้บริการรถโดยสารสาธารณะที่เหมาะสม ของจังหวัดเชียงราย ภายใต้เงื่อนไขประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงมากที่สุดและ (3) เพื่อจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้นานพาหนะน้อยที่สุด

การศึกษานี้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟร่วมกับกระบวนการกำหนดจำนวนเต็ม เพื่ออธิบายรูปแบบของปัญหาโดยใช้วิธีการแตกกิ่งและเพิ่มระนาบตัดในการแก้ปัญหา ซึ่งสามารถสรุปผลของการศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ดังต่อไปนี้

แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ ได้ทำการประมวลผลแบบจำลอง 2 กรณีโดยมีรายละเอียดดังนี้ กรณีที่ 1 ประมวลผลแบบจำลองเพื่อปรับปรุงเส้นทางรถโดยสารสาธารณะในปัจจุบัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงน้อยที่สุดและลดพื้นที่ให้บริการที่ซ้อนทับกัน จำนวน 2 เส้นทางคือ เส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) - มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และเส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) - บ้านสันทราย โดยสามารถลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายหลักของการให้บริการทั้ง 2 เส้นทางได้ 98 มิลลิตร/รอบการให้บริการ คิดเป็นร้อยละ 3.3 กรณีที่ 2 ประมวลผลแบบจำลองเพื่อออกแบบเส้นทางใหม่ (เพิ่มเติม) คือ เส้นทางสถานีขนส่ง (ใหม่) - สถานีขนส่ง (เดิม) - ท่าอากาศยานจังหวัดเชียงราย ให้ครอบคลุมแหล่งดึงดูดการเดินทาง (ที่เหลือ) ในเขตผังเมืองรวมเมืองเชียงราย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการให้บริการน้อยที่สุด เมื่อศึกษาผลลัพธ์จากการประมวลผลทั้ง 2 กรณี ทั้ง 3 เส้นทางพบว่า สามารถให้บริการผ่านจุดดึงดูดการเดินทางที่กำหนดไว้ในกลุ่มของสถานพยาบาล สถานศึกษา และสถานที่ราชการ รวมถึงท่ารถโดยสารได้ทั้งหมด โดยครอบคลุมแหล่งดึงดูดการเดินทางที่สำคัญในจังหวัดเชียงราย คิดเป็น 65% ของความต้องการเดินทางของผู้พักอาศัยในเขตเทศบาล จังหวัดเชียงราย

แบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ ทำการประมวลผลเพื่อหาจำนวนรถที่น้อยที่สุดที่จำเป็นต้องใช้เพื่อให้บริการในสองกรณี คือ กรณีที่ 1 จัดตารางการให้บริการรถโดยสารสาธารณะตามตารางการให้บริการเชิงนโยบายที่กำหนดขึ้น และกรณีที่ 2 จัดตารางการให้บริการรถโดยสารสาธารณะโดยกำหนดให้เพิ่มการหมุนเวียนรถภายในเส้นทาง ผลของแบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ ทั้งสองเส้นทาง สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้ (1) เส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม) - มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย พบว่าต้องใช้จำนวนรถโดยสารสาธารณะเพื่อให้บริการในกรณีที่ 1 และ กรณีที่ 2 ทั้งสิ้น 5 คัน และ 4 คัน ตามลำดับ เมื่อวัดถึงประสิทธิภาพการให้บริการต่อเวลาทั้งหมดแล้วพบว่าเพิ่มขึ้นจาก 57% เป็น 71% (2) เส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) - บ้านสันทราย พบว่าต้องใช้จำนวนรถโดยสารสาธารณะเพื่อให้บริการ ในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ทั้งสิ้น 3 คัน และ 2 คัน ตามลำดับ เมื่อวัดถึงประสิทธิภาพการให้บริการต่อเวลาทั้งหมดแล้วพบว่าเพิ่มขึ้นจาก 41% เป็น 62% ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในกรณีที่จัดตารางการให้บริการรถโดยสารสาธารณะโดยกำหนดให้มีการหมุนเวียนรถภายในเส้นทาง มีการหมุนเวียนรถดีขึ้นส่งผลให้สามารถลดจำนวนการใช้รถลงได้

**คำสำคัญ:** แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ / ระบบขนส่งของจังหวัดเชียงราย / การออกแบบเส้นทาง และจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ

|                              |                                                                                             |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Thesis Title</b>          | Public transport routing and scheduling using mathematical models: a Chiang Rai case study  |
| <b>Author</b>                | Nitisak Charoenroop                                                                         |
| <b>Degree</b>                | Doctor of Philosophy (Computational Science)                                                |
| <b>Supervisory Committee</b> | Dr. Anant Eungwanichayapant<br>Assoc. Prof. Dr. Boonsong Satayopas<br>Dr. Rungrote Nilthong |

## **ABSTRACT**

Chiang Rai has a high usage of private vehicles, which causes traffic jam in the city areas such as schools and business places. This problem brings about impacts on fuel consumption and the environment. Public transport is an alternative way to solve the traffic jam problem. It requires well-designed systems such as routing network and bus scheduling.

This study investigated the problems of public transport routing and scheduling using mathematical models. There are three objectives to this study: 1) to design public transport routing and scheduling model using mathematical models, 2) to design public bus routing in Chiang Rai in order to minimize fuel consumption and 3) to scheduling public bus routing in order to minimize the number of the buses used.

This study used graph theory and integer programming to formulate the problems. The evaluation of public transport routing and scheduling model was done by the Branch and Cut method. The results could be summarized as follows:

There were two models for public transport routing. The first model was to improve the two routes for public transport in order to minimize fuel consumption and avoid the overlap bus routing. The two routes to be improved were the old Bus Terminal-Rajabhat University and the

old Bus Terminal-Ban Sansai. It was found that the improvement of public transport routing can reduce fuel consumption 98 milliliters (3.3%) each round. The second model was to design an additional route to cover all the transport needs in the city from the new bus terminal to the airport via the old bus terminal to minimize the fuel consumption. It was found the three routes from the two models covered all the targeted places including hospitals, schools, government offices, and bus terminals, which attracted 65% of the traffic in Chiang Rai Municipal.

The public transport scheduling model was applied to determine the minimum number of buses required two cases: 1) the public transport scheduling from frequency requirement and 2) the public transport scheduling by managing the turnover of buses used for services. As the results, for the first route, the old bus terminal – Rajabhat University, five buses were needed for service in case 1 and four buses in case 2. It was found that the efficiency of the services increased from 57% to 71%. For the second route, old bus terminal – Ban Sansai, It was found that three buses were needed in case 1 and two buses in case 2. The efficiency of the services increased from 41% to 62%. Therefore, it was suggested that the public transport scheduling by managing the turnover of the buses used for service could reduce the number of the buses used.

**Keyword:** Mathematical Model / Chiang Rai Public Transport / Public Transport Routing and Scheduling.

## สารบัญ

|                                                                                   | หน้า     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|
| กิตติกรรมประกาศ                                                                   | (3)      |
| บทคัดย่อภาษาไทย                                                                   | (4)      |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                                                | (6)      |
| สารบัญตาราง                                                                       | (10)     |
| สารบัญภาพ                                                                         | (12)     |
| <b>บทที่</b>                                                                      |          |
| <b>1 บทนำ</b>                                                                     | <b>1</b> |
| 1.1 หลักการและเหตุผล                                                              | 1        |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย                                                       | 2        |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย                                                             | 3        |
| 1.4 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย                                                        | 3        |
| 1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ                                                               | 6        |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                                                     | 6        |
| <b>2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและแนวคิดในการศึกษา</b>                                    | <b>7</b> |
| 2.1 การขนส่งผู้โดยสารในเขตเมือง                                                   | 7        |
| 2.2 ภาพรวมพื้นที่ศึกษาของการขนส่งผู้โดยสารในพื้นที่ ต.รอบเวียง อ.เมือง จ.เชียงราย | 8        |
| 2.3 การวางแผนและออกแบบระบบขนส่งสาธารณะ                                            | 15       |
| 2.4 รูปแบบเส้นทางและลักษณะโครงข่ายการให้บริการขนส่งสาธารณะ                        | 19       |
| 2.5 ขั้นตอนการวางแผนโครงข่ายรถโดยสารสาธารณะ                                       | 22       |
| 2.6 ขั้นตอนการออกแบบเส้นทางและโครงข่ายรถโดยสารสาธารณะ                             | 24       |
| 2.7 การจัดตารางการเดินรถโดยสารสาธารณะ                                             | 35       |
| 2.8 การกำหนดจำนวนเต็ม วิธีการแก้ปัญหา และการประมวลผลแบบจำลอง                      | 45       |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                         | หน้า |
|---------------------------------------------------------|------|
| บทที่                                                   |      |
| 3 ระเบียบและวิธีการศึกษา                                | 48   |
| 3.1 แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ            | 48   |
| 3.2 แบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ              | 62   |
| 4 ผลของการศึกษาวิจัย                                    | 72   |
| 4.1 แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ            | 73   |
| 4.2 แบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ              | 87   |
| 5 บทสรุป                                                | 102  |
| 5.1 การสรุปผลการวิจัย                                   | 102  |
| 5.2 การอภิปรายผล                                        | 103  |
| 5.3 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ และข้อเสนอแนะอื่นๆ | 104  |
| รายการอ้างอิง                                           | 105  |
| ประวัติผู้เขียน                                         | 110  |

## สารบัญตาราง

| ตาราง                                                                                                                                 | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 แหล่งดึงดูดการเดินทางที่สำคัญในพื้นที่ ต.รอบเวียง อ.เมือง จ.เชียงราย                                                              | 16   |
| 2.2 วิธีการสร้างและประเมิน โครงข่ายเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ                                                                         | 26   |
| 2.3 เขต พารามิเตอร์ และตัวแปรที่ใช้เพื่อออกแบบปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ                                                              | 33   |
| 3.1 เขตและโหนดในแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ                                                                              | 50   |
| 3.2 ตัวอย่างเส้นเชื่อมระหว่างโหนดในแผนที่ผังเมืองรวมเมืองเชียงราย                                                                     | 52   |
| 3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ                                                                       | 54   |
| 3.4 สัมประสิทธิ์ที่ใช้ในแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ                                                                      | 57   |
| 3.5 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของรถมินิบัส (FCR: Fuel Consumption Rate)                                                       | 58   |
| 3.6 ตัวแปรตัดสินใจในแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ                                                                          | 59   |
| 3.7 ข้อมูลการให้บริการรถโดยสารสาธารณะหลังจากเปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการ                                                            | 64   |
| 3.8 เขตที่ใช้ในแบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ                                                                                 | 65   |
| 3.9 พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ                                                                         | 66   |
| 3.10 ตัวแปรตัดสินใจในแบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ                                                                           | 67   |
| 3.11 วิธีการคำนวณจำนวนรถที่สามารถให้บริการได้ในชั่วโมงต่าง ๆ                                                                          | 71   |
| 3.12 วิธีการคำนวณจำนวนรถคงเหลือหลังจากให้บริการ                                                                                       | 71   |
| 4.1 ผลลัพธ์การออกแบบและปรับปรุงเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ ในเขตพื้นที่<br>ผังเมืองรวมเมืองเชียงราย                                    | 73   |
| 4.2 ผลลัพธ์การปรับปรุงเส้นทางให้บริการในเส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม)–<br>มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)–บ้านสันทราย | 76   |
| 4.3 เปรียบเทียบเส้นทางให้บริการในปัจจุบันกับเส้นทางที่ออกแบบโดยแบบจำลอง<br>ในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)–มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย        | 77   |
| 4.4 เปรียบเทียบเส้นทางให้บริการที่ออกแบบโดยแบบจำลองในเส้นทางสถานีขนส่ง<br>(เดิม)–มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายใน 2 ทิศทางไปและกลับ        | 80   |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตาราง                                                                                                                                                               | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.5 เปรียบเทียบเส้นทางการให้บริการในปัจจุบันกับเส้นทางที่ออกแบบโดยแบบจำลอง<br>ในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย                                                 | 84   |
| 4.6 ผลลัพธ์แบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ                                                                                                                   | 87   |
| 4.7 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) -<br>มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในช่วงเวลา 16:00 น.- 18:00 น.                                              | 89   |
| 4.8 ประสิทธิภาพการให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) -<br>มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงและไม่เปลี่ยนแปลง<br>ความถี่การให้บริการ | 89   |
| 4.9 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) -<br>มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในช่วงเวลา 16:00 น.- 18:00 น.<br>กรณีเพิ่มความถี่การให้บริการ              | 92   |
| 4.10 ผลลัพธ์แบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง<br>(เดิม) - มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย                                                         | 93   |
| 4.11 ประสิทธิภาพการให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) -<br>บ้านสันทราย กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงและไม่เปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการ                  | 95   |
| 4.12 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย<br>ในช่วงเวลา 6:00 น.- 8:00 น.                                                                | 97   |
| 4.13 ผลลัพธ์แบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) -<br>บ้านสันทราย                                                                       | 98   |

## สารบัญภาพ

| ภาพ                                                                                                                                                                                              | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1 พื้นที่ออกแบบระบบขนส่งสาธารณะ เขตผังเมืองรวมเมืองเชียงราย                                                                                                                                    | 4    |
| 1.2 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองการจัดเส้นทางและตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ                                                                                                                              | 5    |
| 2.1 เส้นทางการให้บริการรถรอบเวียง จังหวัดเชียงราย                                                                                                                                                | 10   |
| 2.2 เส้นทางการให้บริการระบบขนส่งสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) -<br>มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และ สถานีขนส่ง (เดิม) - บ้านสันทราย                                                             | 11   |
| 2.3 เส้นทางการให้บริการระบบขนส่งสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) -<br>มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และ สถานีขนส่ง (เดิม) - บ้านสันทราย (ภาพขยาย)                                                   | 12   |
| 2.4 ปัญหาการให้บริการรถโดยสารสาธารณะ (ทับเส้นทาง) ในจังหวัดเชียงราย                                                                                                                              | 14   |
| 2.5 รูปแบบเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ                                                                                                                                                             | 15   |
| 2.6 แหล่งดึงดูดการจราจรที่สำคัญภายในพื้นที่ ต.รอบเวียง จ.เชียงราย                                                                                                                                | 18   |
| 2.7 โครงข่ายระบบขนส่งสาธารณะรูปแบบกริด                                                                                                                                                           | 20   |
| 2.8 โครงข่ายระบบขนส่งสาธารณะรูปแบบรัศมี                                                                                                                                                          | 20   |
| 2.9 โครงข่ายระบบขนส่งสาธารณะรูปแบบรัศมีไขว้                                                                                                                                                      | 21   |
| 2.10 ขั้นตอนการออกแบบเส้นทางและโครงข่ายเดินรถโดยสารสาธารณะ                                                                                                                                       | 24   |
| 2.11 คุณลักษณะโดยทั่วไปของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ                                                                                                                                             | 32   |
| 2.12 วิธีการคำนวณจำนวนรถที่เข้ามาในสถานี $k$ ในช่วงเวลา $T_{i-1}$                                                                                                                                | 36   |
| 2.13 การคำนวณจำนวนรถที่เข้ามาในสถานี $k$ (กรณีที่เป็นไปได้ 6 กรณี)                                                                                                                               | 38   |
| 2.14 กรณีที่ 1 ช่วงเวลาที่ตรวจสอบไม่มีรถให้บริการ (มีรถให้บริการหลังเวลาที่ตรวจสอบ)                                                                                                              | 39   |
| 2.15 กรณีที่ 2 ช่วงเวลาที่ตรวจสอบมีรถให้บริการ เท่ากับ ความถี่ $(x_j)$ ที่ให้บริการ                                                                                                              | 40   |
| 2.16 กรณีที่ 3 ช่วงเวลาที่ตรวจสอบไม่มีรถให้บริการ (มีรถให้บริการก่อนเวลาที่ตรวจสอบ)                                                                                                              | 40   |
| 2.17 กรณีที่ 4 ช่วงเวลาที่ตรวจสอบมีรถให้บริการ เท่ากับ $\left\lceil \frac{T_i - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rceil$                                                                        | 41   |
| 2.18 กรณีที่ 5 ช่วงเวลาที่ตรวจสอบมีรถให้บริการ เท่ากับ $\left\lceil \frac{z_j - T_{i-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rceil$                                                                        | 41   |
| 2.19 กรณีที่ 6 ช่วงเวลาที่ตรวจสอบมีรถให้บริการ เท่ากับ $\left\lceil \frac{T_i - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rceil - \left\lceil \frac{T_{i-1} - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rceil$ | 42   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพ                                                                                                                                      | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.20 การประมวลผลแบบจำลองการจัดเส้นทางและจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ                                                                      | 47   |
| 3.1 รูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบเปิดและแบบปิด                                                                                     | 49   |
| 3.2 ลักษณะของกราฟมัลติเพิลเอจ (Multiple edge)                                                                                            | 52   |
| 3.3 ระยะทางและทิศทางการเดินรถในเขตพื้นที่ ต.รอบเวียง จ.เชียงราย                                                                          | 53   |
| 3.4 แผนที่เขตผังเมืองรวมที่ใช้ในการออกแบบระบบขนส่งสาธารณะ                                                                                | 55   |
| 3.5 ความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ออกแบบระบบขนส่งสาธารณะในพื้นที่ ต.รอบเวียง จ.เชียงราย                                                            | 56   |
| 3.6 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ในช่วงความเร็ว 5-78 กม/ชม.                                                                        | 58   |
| 3.7 ลักษณะของ Node & Route balance constraint                                                                                            | 61   |
| 3.8 ผลสำรวจการเดินทางของผู้พักอาศัยในเขตเทศบาลนครเชียงรายจำแนกตามช่วงเวลา                                                                | 63   |
| 3.9 การคำนวณค่า $BusFunc_{h,i,j,p}$                                                                                                      | 66   |
| 4.1 ผลลัพธ์การออกแบบและปรับปรุงเส้นทางเดินรถโดยสาร สาธารณะ<br>ในเขตพื้นที่ผังเมืองรวมเมืองเชียงราย                                       | 74   |
| 4.2 ผลลัพธ์การออกแบบและปรับปรุงเส้นทางเดินรถโดยสาร สาธารณะ<br>ในเขตพื้นที่ผังเมืองรวมเมืองเชียงราย (ภาพขยาย)                             | 75   |
| 4.3 เปรียบเทียบเส้นทางให้บริการในปัจจุบันกับเส้นทางที่ออกแบบโดยแบบจำลอง<br>ในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย           | 78   |
| 4.4 เปรียบเทียบเส้นทางให้บริการในปัจจุบันกับเส้นทางที่ออกแบบโดยแบบจำลอง<br>ในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย (ภาพขยาย) | 79   |
| 4.5 เปรียบเทียบเส้นทางให้บริการที่ออกแบบโดยแบบจำลองในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)<br>-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายใน 2 ทิศทางไปและกลับ (ภาพขยาย) | 81   |
| 4.6 เปรียบเทียบเส้นทางให้บริการในปัจจุบันกับเส้นทางที่ออกแบบโดยแบบจำลอง<br>ในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย                         | 82   |
| 4.7 เปรียบเทียบเส้นทางให้บริการในปัจจุบันกับเส้นทางที่ออกแบบโดยแบบจำลอง<br>ในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย (ภาพขยาย)               | 83   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพ                                                                                                                               | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.8 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(ใหม่)-สถานีขนส่ง(เดิม)-ท่าอากาศยานจังหวัดเชียงราย                              | 85   |
| 4.9 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(ใหม่)-สถานีขนส่ง(เดิม)-ท่าอากาศยานจังหวัดเชียงราย (ภาพขยาย)                    | 86   |
| 4.10 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย กรณีไม่เปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการ (error) | 90   |
| 4.11 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย กรณีไม่เปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการ         | 91   |
| 4.12 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย กรณีเปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการ            | 94   |
| 4.13 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย กรณีไม่เปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการ                       | 96   |
| 4.14 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย กรณีที่เปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการ                       | 99   |
| 4.15 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย กรณีไม่เปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการ (error)               | 100  |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันพบว่าเมืองใหญ่ที่มีประชากรอยู่หนาแน่น มักประสบปัญหาการเดินทางในเขตเมือง จังหวัดเชียงรายเป็นจังหวัดหนึ่งที่ประสบปัญหาดังกล่าว อันเนื่องมาจากมีอัตราการใช้นานพาหนะส่วนบุคคลเพื่อใช้เดินทางในเขตเมืองสูง จากผลสำรวจการเดินทางของผู้พักอาศัยในเขตเทศบาลนครเชียงราย ในด้านของวัตถุประสงค์ของการเดินทาง (จำนวนการเดินทาง) โดยจำแนกตามประเภทยานพาหนะ (บุญส่ง สัต โยภาส และคณะ, 2547) พบว่า ผู้พักอาศัยในเขตเทศบาลเดินทางโดยรถจักรยานยนต์มีอัตราส่วนสูงสุด คิดเป็น 59.2% รองลงมาคือรถปิกอัพและรถเก๋ง มีอัตราส่วน 24.7% และ 12.3% ตามลำดับ โดยมีผู้ใช้รถสาธารณะ (รถสองแถว) เพียง 0.15% ดังจะพบเห็นปัญหาการติดขัดของการเดินทาง บริเวณย่านธุรกิจ สถานศึกษา และทางแยกสำคัญต่าง ๆ ซึ่งสร้างผลกระทบทางเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม ความล่าช้าในการเดินทาง ด้านอุบัติเหตุ และอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม การเดินทางด้วยวิธีต่าง ๆ ในเขตเมืองเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ และเมื่อจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้น ความต้องการเดินทางก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น กระบวนการแก้ไขปัญหาการเดินทางในเขตเมืองจึงเป็นสิ่งจำเป็นและควรให้ความสำคัญ

ระบบขนส่งสาธารณะเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาข้างต้นได้ เนื่องจากระบบขนส่งสาธารณะเป็นระบบที่ให้ความสำคัญกับการเคลื่อนย้ายคน ซึ่งสามารถช่วยลดการใช้นานพาหนะส่วนบุคคล และบรรเทาปัญหาการจราจรที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและอนาคตได้

ระบบขนส่งสาธารณะ (รถสองแถว) ที่ให้บริการภายในเขตเมือง จังหวัดเชียงราย มีให้บริการ 3 เส้นทาง (สำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงราย, 2548ก, 2548ข, 2548ค) คือ (1) รถรอบเวียง (2) เส้นทางขนส่ง-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และ (3) เส้นทางขนส่ง-บ้านสันทราย ซึ่งในทางปฏิบัติพบปัญหาการรับส่ง ผู้โดยสารนอกเส้นทาง มีอัตราค่าบริการที่ไม่แน่นอนและค่อนข้างสูง ประกอบกับมีการให้บริการที่ทับเส้นทาง จึงเป็นผลให้ประชาชนไม่นิยมใช้บริการเท่าที่ควร ในปี พ.ศ. 2547 บุญส่ง สัต โยภาส และคณะ ได้ศึกษาเกี่ยวกับระบบขนส่งสาธารณะในจังหวัดเชียงราย โดยได้ให้

ข้อเสนอแนะว่า “จังหวัดเชียงรายควรพัฒนาและส่งเสริมระบบขนส่งสาธารณะที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน เพื่ออำนวยความสะดวกในการเข้าสู่พื้นที่ส่วนต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและทั่วถึง เพื่อให้สามารถดึงดูดผู้มาใช้บริการเพิ่มขึ้น และลดปัญหาการจราจรที่เกิดขึ้นในอนาคต”

ภัทรารุช วิชพัฒน์ และอำนวยการศักดิ์ ทวีลาภ (2550) ได้ศึกษารูปแบบการเดินทางที่เหมาะสมของเมืองภูมิภาคต่าง ๆ ในประเทศไทย พบว่าการเดินทางส่วนใหญ่เป็นการเดินทางภายในเขตเทศบาล โดยมีรัศมีของการเดินทางอยู่ระหว่าง 2 ถึง 5 กิโลเมตร จากบริเวณย่านใจกลางเมือง การพัฒนาระบบการขนส่งมวลชนเพื่อให้บริการเป็นรูปแบบที่เหมาะสมกว่าระบบทางด่วน แต่จากการศึกษาพบว่า การพัฒนาระบบขนส่งมวลชนที่มีประสิทธิภาพ ที่ครอบคลุม พอเพียง ทั้งความจุ ความรวดเร็ว และความสะดวกสบาย ของแต่ละจังหวัดนั้น ต้องอาศัยเงินลงทุนที่มีมูลค่าค่อนข้างสูงจึงไม่อยู่ในการวางแผนหรือพิจารณากำหนดเป็นนโยบายทั้งในระดับท้องถิ่นหรือประเทศ ทำให้โครงการนั้น ๆ ไม่มีความเหมาะสมทางการเงินเท่าที่ควร แต่หากมองกลับไปถึงผลตอบแทนทางด้านเศรษฐกิจ มีความคุ้มค่ามากกว่ามากเมื่อเทียบกับการสูญเสียพลังงาน อันเกิดจากการครอบครองยานพาหนะส่วนบุคคลที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความสนใจ ในการศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อวางแผนออกแบบเส้นทาง และจัดตารางการเดินรถโดยสารสาธารณะ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้จำนวนรถในการให้บริการน้อยที่สุด และมีค่าใช้จ่ายในการให้บริการต่อรอบต่ำที่สุด (ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงมากที่สุด)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบเส้นทางและจัดตารางการให้บริการรถโดยสารสาธารณะ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.2.2 เพื่อกำหนดโครงข่ายเส้นทางให้บริการรถโดยสารสาธารณะที่เหมาะสม ของจังหวัดเชียงราย ภายใต้เงื่อนไขประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงมากที่สุด

1.2.3 เพื่อจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ เพื่อให้มีความเหมาะสมกับการให้บริการเดินรถ และความต้องการของผู้โดยสาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้รถน้อยที่สุด

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษานี้ศึกษาเกี่ยวกับการกำหนดเส้นทางและจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการให้บริการ โดยมีขอบเขตของการศึกษาวิจัย ดังต่อไปนี้

ขอบเขตด้านพื้นที่ศึกษา ใช้พื้นที่ในเขตผังเมืองรวมเมืองเชียงราย (ดังแสดงในภาพที่ 1.1) ตามประกาศกระทรวง ปี พ.ศ. 2550 (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2553) ซึ่งรวมพื้นที่เขตเมือง เป็นกรณีศึกษา โดยครอบคลุม พื้นที่บังคับใช้ ในท้องที่ ตำบลนางแล ตำบลแม่ข้าวต้ม ตำบลบ้านดู่ ตำบลริมกก ตำบลรอบเวียง ตำบลท่าสาย ตำบลสันทราย อำเภอเมืองเชียงราย และตำบลเวียงชัย อำเภอเวียงชัย จังหวัดเชียงราย

การสร้างเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะไม่พิจารณาข้อมูลความต้องการเดินทางของประชาชนในแต่ละป้าย และการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะไม่พิจารณาในเรื่องความสามารถการบรรทุกของรถโดยสารสาธารณะ

### 1.4 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

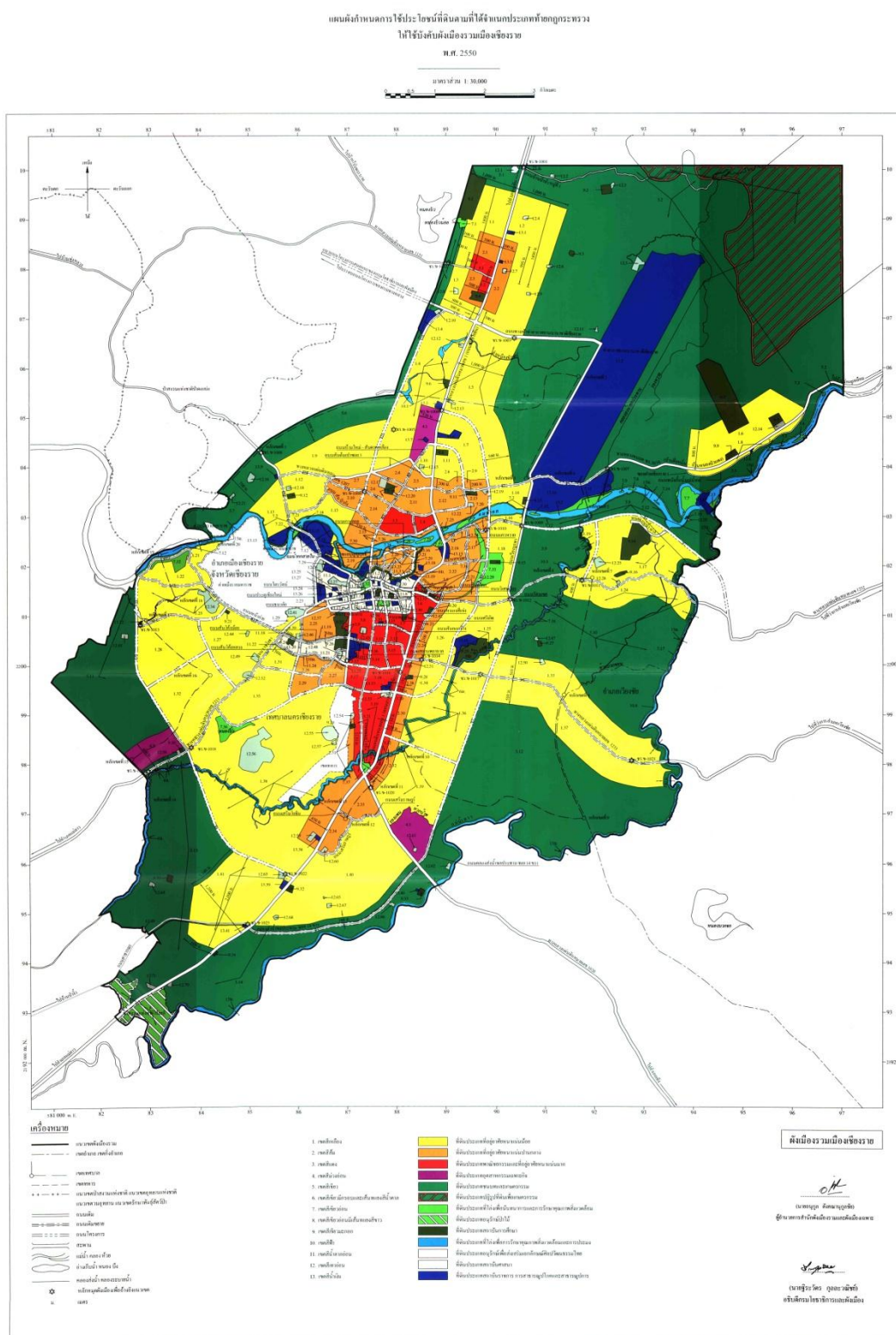
แบบจำลองการออกแบบเส้นทางและจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะสามารถอธิบายขั้นตอนของการศึกษาวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 1.2)

1.4.1 ศึกษาการให้บริการรถขนส่งสาธารณะในปัจจุบัน ในเรื่องของเส้นทางและตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ

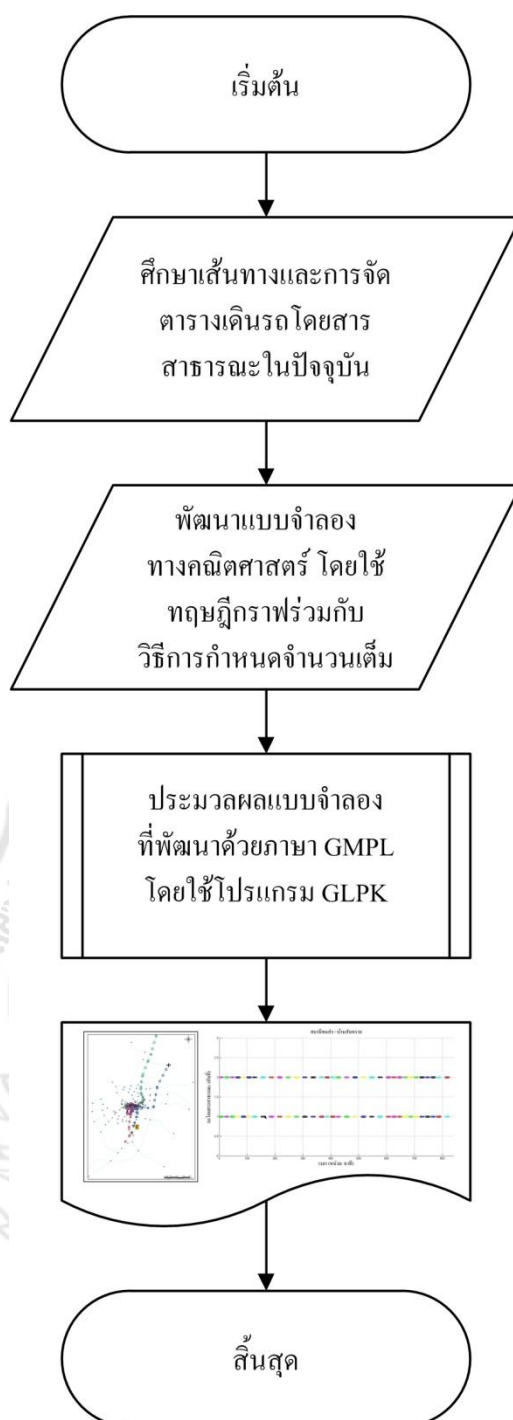
1.4.2 พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อออกแบบและปรับปรุงเส้นทางในการให้บริการและจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ โดยใช้ทฤษฎีกราฟ ร่วมกับกระบวนการกำหนดจำนวนเต็มในการอธิบายและแก้ปัญหา

1.4.3 ใช้ภาษา GNU Mathematical Programming Language (GMPL) แมคโคริน (Makhorin, 2010a) ในการอธิบายโครงสร้างของปัญหา ร่วมกับ โปรแกรม GNU Linear Programming tool Kit (GLPK) แมคโคริน (Makhorin, 2010b) ในการประมวลผลแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น

1.4.4 แสดงผลแบบจำลองการจัดเส้นทางและจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ โดยใช้แผนที่ผังเมืองรวมเมืองเชียงราย และตารางการให้บริการรถโดยสารสาธารณะ



**ภาพที่ 1.1** พื้นที่ออกแบบระบบขนส่งสาธารณะ เขตผังเมืองรวมเมืองเชียงราย



ภาพที่ 1.2 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองการจัดเส้นทางและตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ

## 1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้เป็นการกำหนดปัญหาจำนวนเต็ม ในรูปแบบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และข้อจำกัด โดยอาศัยแนวความคิดของทฤษฎีกราฟ ช่วยในการอธิบายและออกแบบเส้นทางและจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ

1.5.2 ระบบขนส่งสาธารณะ หมายถึง ระบบการขนส่งผู้โดยสาร โดยบุคคลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับผู้โดยสาร ประชาชนทั่วไปสามารถใช้บริการได้โดยไม่มีข้อจำกัด ผู้ประกอบการขนส่งสาธารณะอาจเป็นหน่วยงานรัฐ หรือเอกชน หรือร่วมกันระหว่างภาครัฐและเอกชนก็ได้ ตัวอย่างระบบขนส่งสาธารณะ ได้แก่ ระบบขนส่งผู้โดยสารด้วยระบบราง รถยนต์ประจำทาง แท็กซี่ เป็นต้น

1.5.3 เส้นทางให้บริการที่เหมาะสม คือ เส้นทางที่ให้บริการที่มีค่าใช้จ่ายในการให้บริการที่ต่ำที่สุด (ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงมากที่สุด)

1.5.4 ตารางเดินรถโดยสารประจำทาง หมายถึง ตารางที่ระบุข้อมูลเกี่ยวกับการให้บริการรถโดยสารสาธารณะ ได้แก่ เวลาออกรถ จุดจอดรับ-ส่งผู้โดยสาร จำนวนเที่ยววิ่งในแต่ละวัน จำนวนรถ ระยะเวลาในการเดินรถ เป็นต้น

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ออกแบบเส้นทาง และจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ

1.6.2 โครงข่ายเส้นทางให้บริการรถโดยสารสาธารณะที่เหมาะสมของจังหวัดเชียงราย ภายใต้เงื่อนไขประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงมากที่สุด

1.6.3 ตารางการให้บริการรถโดยสารสาธารณะที่มีประสิทธิภาพโดยใช้จำนวนรถโดยสารสาธารณะน้อยที่สุด

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและแนวคิดในการศึกษา

ในบทนี้นำเสนอเนื้อหา ทบทวนแนวความคิด โดยสรุปจากเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ โดยมีประเด็นต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องสามารถแยกเป็น 2 ส่วนดังต่อไปนี้

ส่วนที่หนึ่ง เป็นการอธิบายภาพรวมของการขนส่งผู้โดยสารในพื้นที่ศึกษา ทฤษฎีการออกแบบโครงข่าย และจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ ซึ่งได้แก่ การขนส่งผู้โดยสารในเขตเมือง ภาพรวมพื้นที่ศึกษาของการขนส่งผู้โดยสารในพื้นที่ ต.รอบเวียง อ.เมือง จ.เชียงราย การวางแผนและออกแบบระบบขนส่งสาธารณะ รูปแบบเส้นทางและโครงข่ายการให้บริการขนส่งสาธารณะ ขั้นตอนการวางแผนออกแบบเส้นทางและโครงข่ายรถโดยสารสาธารณะ และวิธีการจัดตารางการเดินรถโดยสารสาธารณะ

ส่วนที่สอง อธิบายถึงการกำหนดจำนวนเต็มและวิธีการแก้ปัญหา โดยวิธีการแตกกิ่งและเพิ่มระนาบตัด (Branch and cut method) ที่อาศัยแนวความคิดพื้นฐานของวิธีการแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and bound method) ร่วมกับวิธีการระนาบตัด (Cutting plane method) และอธิบายถึงวิธีการประมวลผลแบบจำลองการจัดเส้นทางและการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ โดยใช้โปรแกรม GLPK ในการประมวลผล

#### 2.1 การขนส่งผู้โดยสารในเขตเมือง

การขนส่งผู้โดยสารในตัวเมือง (ประชิด ไกรเนตร, 2541) หมายถึง ความพยายามที่จะจัดการขนส่งคนภายในบริเวณชุมชน เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการทางเศรษฐกิจและสังคม การขนส่งผู้โดยสารในตัวเมืองสามารถแบ่งได้เป็น การขนส่งผู้โดยสารไปกลับภายในเมือง การขนส่งผู้โดยสารจากในเมืองไปนอกเมือง และการขนส่งผู้โดยสารจากนอกเมืองเข้าสู่ในเมืองจึงต้องมีการสำรวจความต้องการเดินทางของผู้โดยสาร ซึ่งเป็นการหาข้อมูลความต้องการเดินทางว่าขึ้นรถสายอะไร ในเวลาใด ต่อรถที่ไหน เพื่อนำข้อมูลที่สำรวจได้มาจัดเส้นทาง ตารางเดินรถและ

จำนวนรถให้เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์ของการพัฒนาการขนส่งผู้โดยสาร เพื่อให้ (1) มีความประหยัดในการขนส่งผู้โดยสาร ทั้งในด้านของต้นทุนการขนส่ง และการประหยัดในด้านอัตราค่าโดยสาร กล่าวคือ ผู้ประกอบกิจการขนส่งผู้โดยสารจะต้องพยายามให้มีต้นทุนต่ำที่สุดเท่าที่ทำได้ เมื่อต้นทุนในการขนส่งต่ำก็สามารถเก็บอัตราค่าโดยสารต่ำด้วย อันเป็นผลให้มีผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น (2) มีความแน่นอน และตรงเวลาในการขนส่งผู้โดยสาร ซึ่งเป็นเรื่องที่สำคัญ ที่จะต้องให้ผู้โดยสารทราบถึงปริมาณการให้บริการ และระยะเวลาในการเดินทาง อันจะทำให้ผู้โดยสารสามารถเลือกการเดินทางไปสู่จุดหมายตามเวลาที่ต้องการได้ โดยมีการกำหนดเวลาในการเดินทางและจำนวนเที่ยวไว้อย่างแน่นอน และมีเวลาเข้าออกต้นทางและปลายทางแน่นอน ซึ่งจะสร้างความเชื่อถือให้แก่ผู้ใช้บริการเป็นอย่างดี (3) มีความรวดเร็วในการขนส่งผู้โดยสาร ซึ่งสามารถทำให้ผู้โดยสารไปถึงจุดหมายปลายทางทันเวลาตามความต้องการ (4) มีความปลอดภัยในการขนส่งผู้โดยสาร เป็นสิ่งที่สำคัญมากต่อผู้ใช้บริการเนื่องจากผู้โดยสารต้องการเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งอย่างปลอดภัยทั้งในด้านชีวิตและทรัพย์สิน ซึ่งผู้ประกอบการขนส่งผู้โดยสารจะต้องรับผิดชอบต่อความปลอดภัยของผู้โดยสาร (5) มีความสะดวกสบายในการขนส่งผู้โดยสาร เป็นสิ่งที่ผู้ใช้บริการต้องการอย่างมาก เช่น อุปกรณ์การขนส่งจะต้องอยู่ในสภาพดี และมีการอำนวยความสะดวกในการขึ้นลงยานพาหนะ เป็นต้น

## 2.2 ภาพรวมพื้นที่ศึกษาของการขนส่งผู้โดยสารในพื้นที่ ต.รอบเวียง อ.เมือง จ.เชียงราย

จังหวัดเชียงรายเป็นจังหวัดหนึ่งใน 17 จังหวัดภาคเหนือ ตั้งอยู่เหนือสุดของประเทศไทย ห่างจากกรุงเทพมหานคร ตามระยะทางหลวงหมายเลข 1 ถนนพหลโยธิน ประมาณ 935 กิโลเมตร มีพื้นที่ทั้งหมด 11,678,369 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 7,298,981 ไร่ ด้านการปกครองจังหวัดเชียงราย ได้แบ่งการปกครองออกเป็น 16 อำเภอ กับ 2 กิ่งอำเภอ คือ อำเภอเมือง อำเภอพาน อำเภอเทิง อำเภอแม่สรวย อำเภอแม่จัน อำเภอแม่สาย อำเภอเชียงแสน อำเภอเชียงของ อำเภอป่าแดด อำเภอเวียงชัย อำเภอเวียงป่าเป้า อำเภอพญาเม็งราย อำเภอเวียงแก่น อำเภอแม่ฟ้าหลวง อำเภอขุนตาล อำเภอแม่ลาว กิ่งอำเภอเวียงเชียงรุ้ง และกิ่งอำเภอดอยหลวง

จังหวัดเชียงใหม่มีการกำหนดพื้นที่เพื่อการวางแผนการใช้ที่ดิน และโครงข่ายคมนาคม โดยกรมโยธาธิการและผังเมือง ในส่วนของพื้นที่ที่มีศักยภาพในการพัฒนา และมีการอยู่อาศัยหนาแน่น เรียกพื้นที่เขตนี้ว่า “ผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่” (ดังแสดงในบทที่ 1 ภาพที่ 1.1) ผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่เป็นกฎหมายซึ่งประกาศบังคับ ครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2530 มีเนื้อที่ประมาณ 47.4 ตารางกิโลเมตร และหมดอายุการบังคับใช้เมื่อ พ.ศ. 2535 ต่อมาได้มีการปรับปรุงขยายเขตผังเมืองรวมให้ครอบคลุมการขยายตัวชุมชนที่เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยในปี พ.ศ. 2550 มีการประกาศเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผังเมืองรวม มีพื้นที่บังคับใช้ ในท้องที่ตำบลนางแล ตำบลแม่ข้าวต้ม ตำบลบ้านคู้ ตำบลริมกก ตำบลรอบเวียง ตำบลเวียง ตำบลท่าสาย ตำบลสันทราย อำเภอเมืองเชียงใหม่ ตำบลเวียงชัย อำเภอเวียงชัย ซึ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินภายในเขตผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ ปัจจุบันยังมีการใช้แบบผสมผสานกันไป โดยมากใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อประกอบกิจการค้าขาย อุตสาหกรรม สามารถแบ่งได้ 3 รูปแบบ คือ (1) บริเวณพื้นที่กลางเขตผังเมือง โดยเฉพาะภายในเขตรอบเวียง กระจุกตัวหนาแน่นตลอดสองข้างทางบนถนนอุตรกิจ ถนนสิงห์ไคล ถนนรัตนาลัย และถนนบรรพปราการ นับเป็นย่านพาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก และยังเป็นแหล่งดึงดูดการจราจรที่สำคัญของเมือง (2) เขตผังเมืองช่วงกลางถัดออกมา เป็นการใช้ที่ดินสำหรับที่ดินอยู่อาศัยหนาแน่นปานกลาง ยกเว้นบริเวณชุมชนบ้านใหม่ที่เป็นที่ดินอยู่อาศัยหนาแน่นมาก (3) เขตผังเมืองรวมด้านนอกนั้น ลักษณะการใช้พื้นที่มักจะเพื่อการเกษตรเป็นส่วนใหญ่ และสร้างหมู่บ้านจัดสรร โดยเฉพาะทิศเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ จากการศึกษาถึงเส้นทางการให้บริการรถโดยสารสาธารณะ ภายในจังหวัดเชียงใหม่ มีเส้นทางการให้บริการทั้งสิ้น 3 เส้นทาง โดยมีรายละเอียดการให้บริการแต่ละเส้นทางดังต่อไปนี้

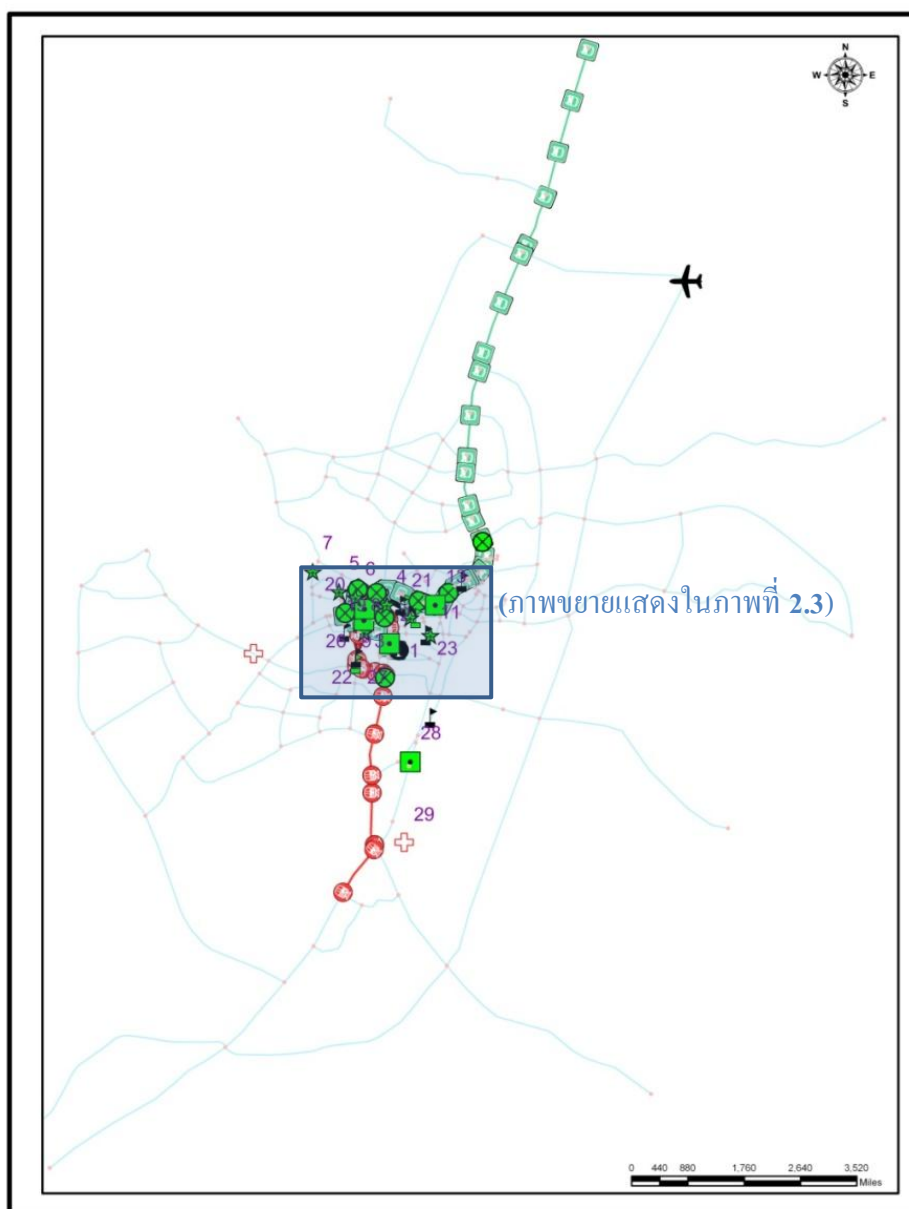
เส้นทางรถรอบเวียง (สำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงใหม่, 2548ก) โดยมีรายละเอียดเส้นทางเริ่มต้นจาก สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดเชียงใหม่ (สัญลักษณ์ i หมายเลข 1) ไปตามถนนสถานีขนส่ง เลี้ยวขวาไปตามถนนพหลโยธิน ผ่านสี่แยกประตูลี้ ตรงไปตามถนนรัตนาคเขต เลี้ยวขวาไปตามถนนรัตนาลัย ผ่านเรือนจำ เลี้ยวซ้ายไปตามถนนศรีเกิด เลี้ยวขวาไปตามถนนอุตรกิจ ผ่านอนุสาวรีย์พ่อขุนเม็งรายมหาราช (13) เลี้ยวซ้ายไปตามถนนสิงห์ไคล ผ่านสำนักงานป่าไม้เขต เลี้ยวซ้ายไปตามถนนรัตนาคเขต ผ่านกองกำกับการตำรวจภูธรจังหวัดเชียงใหม่ เลี้ยวขวาไปตามถนนอุตรกิจ ผ่านตลาดสดเทศบาล โรงเรียนเชียงใหม่วิทยาคม เลี้ยวขวาไปตามถนนสนามบิน เลี้ยวซ้ายไปตามถนน สถานีพยาบาล ผ่านโรงพยาบาลเชียงใหม่พระครู (14) เลี้ยวซ้าย ไปตามถนนพหลโยธินเลี้ยวขวาไปสู่จุดเส้นทางที่สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดเชียงใหม่ (ดังแสดงในภาพที่ 2.1)



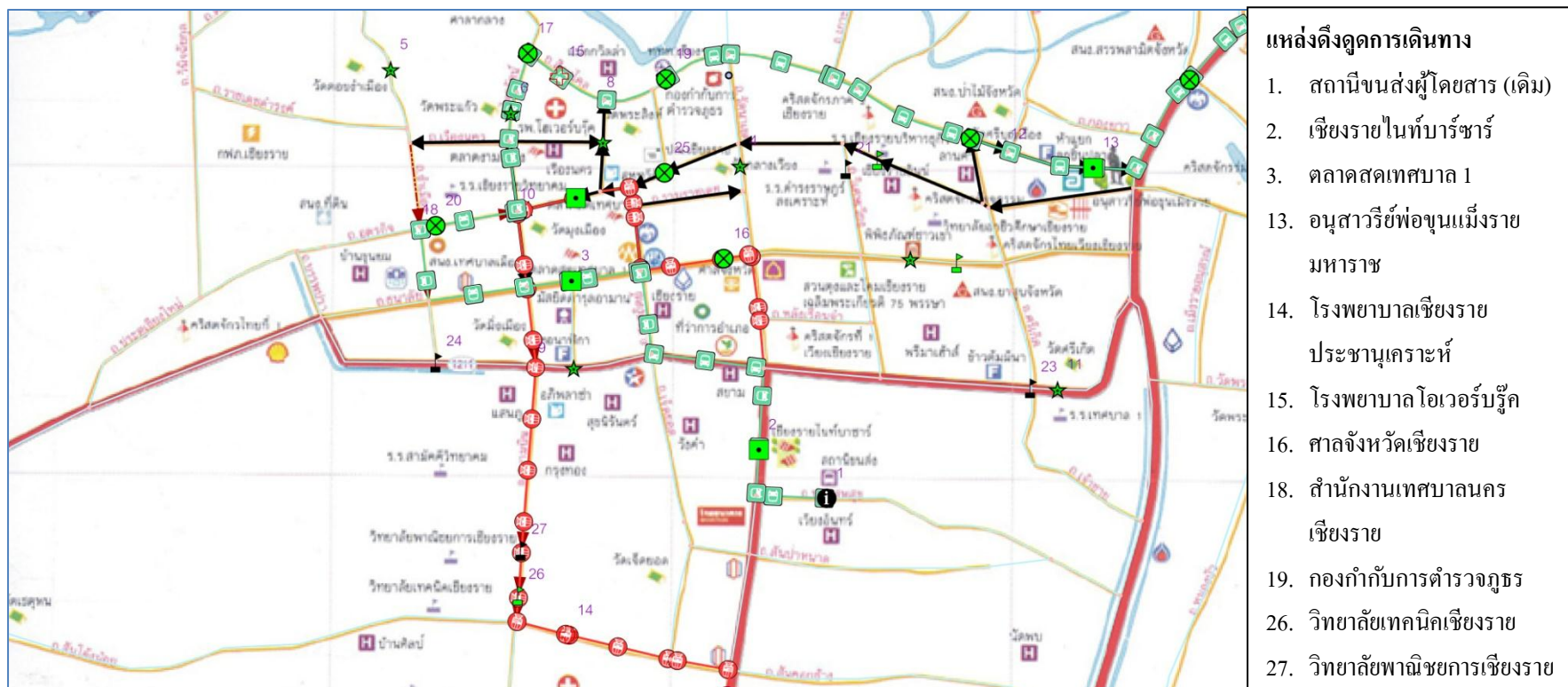
หมายเหตุ. หมายเลขสีม่วง แทนลำดับที่แหล่งดึงดูดการเดินทางที่สำคัญในจังหวัดเชียงราย

ภาพที่ 2.1 เส้นทางกรให้บริการรถรอบเวียง จังหวัดเชียงราย

เส้นทางสถานีขนส่ง - มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย (สำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงราย, 2548ค)  
มีรายละเอียดเส้นทาง เริ่มต้นจากสถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดเชียงราย (สัญลักษณ์ i หมายเลข 1)  
(ดังแสดงในภาพที่ 2.2 และ 2.3 เส้นทางสีเขียว)



ภาพที่ 2.2 เส้นทางให้บริการระบบขนส่งสาธารณะ ในเส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) –  
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และ สถานีขนส่ง (เดิม) – บ้านสันทราย



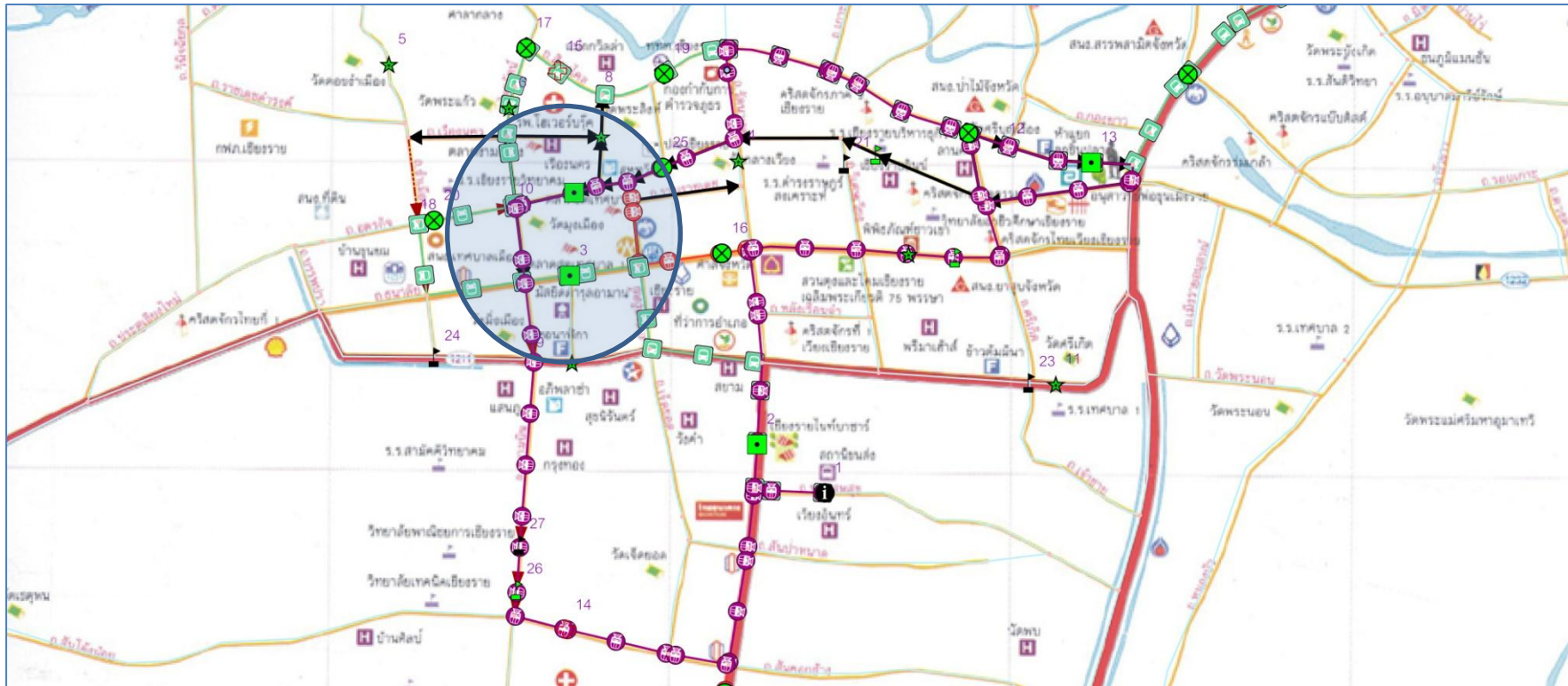
ภาพที่ 2.3 เส้นทางให้บริการโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และเส้นทางจากสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย (ภาพขยาย)

ไปตามถนนสถานีขนส่ง เลี้ยวขวาไปตามถนนพหลโยธิน เลี้ยวซ้ายไปตามถนนบรรพปราการ เลี้ยวขวาไปตามถนนสุขสวัสดิ์ เลี้ยวซ้ายไปตามถนนธนาลย์ เลี้ยวขวาไปตามถนนจำเมือง เลี้ยวขวาไปตามถนนอุตรกิจ เลี้ยวซ้ายไปตามถนนไทรรัตน์ เลี้ยวขวาไปตามถนนสิงห์โคก ผ่านอนุสาวรีย์พ่อขุนเม็งรายมหาราช (13) เลี้ยวซ้ายไปตามถนนพหลโยธิน เลี้ยวซ้ายไปตามถนนเข้ามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ไปสุดเส้นทาง ณ สถานที่จอดรถโดยสารประจำทางมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

เส้นทางสถานีขนส่ง-สันทราย (สำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงราย, 2548ข) โดยมีรายละเอียดเส้นทาง เริ่มต้นจากสถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดเชียงราย (สัญลักษณ์ i หมายเลข 1) ไปตามถนนสถานีขนส่ง เลี้ยวขวาไปตามถนนพหลโยธิน ผ่านสี่แยกประตูลี้ ตรงไปตามถนนรัตนเขต เลี้ยวซ้ายไปตามถนนธนาลย์ ผ่านศาลจังหวัดเชียงราย (16) เลี้ยวขวาไปตามถนนสุขสวัสดิ์ เลี้ยวซ้ายไปตามถนนอุตรกิจ ผ่านตลาดสดเทศบาล เลี้ยวซ้ายไปตามถนนไทรรัตน์ ตรงไปตามถนนสนามบิน เลี้ยวซ้ายไปตามถนนสถานพยาบาล ผ่านโรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคราะห์ (14) เลี้ยวขวาไปตามถนนพหลโยธิน ไปสุดเส้นทาง ณ สถานที่จอดรถโดยสารประจำทางบ้านสันทราย (ดังแสดงในภาพที่ 2.2 และ 2.3 เส้นทางสีแดง)

เมื่อศึกษารายละเอียดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะในปัจจุบันทั้ง 3 เส้นทาง (ดังแสดงในภาพที่ 2.1 – 2.3) พบว่าในบางพื้นที่มีปัญหาการให้บริการทับเส้นทาง (ดังแสดงในภาพที่ 2.4) ซึ่งในทางปฏิบัติมีการรับส่งผู้โดยสารนอกเส้นทาง มีอัตราค่าบริการที่ไม่แน่นอนและค่อนข้างสูง จึงเป็นผลให้ประชาชนไม่นิยมใช้บริการ (บุญส่ง สัตโยภาส และคณะ, 2547) ประกอบกับเส้นทางให้บริการรถโดยสารในปัจจุบัน ยังไม่ครอบคลุมพื้นที่แหล่งดึงดูดการเดินทางที่สำคัญในจังหวัดเชียงราย อาทิเช่น สถานีขนส่ง (ใหม่) ท่าอากาศยานจังหวัดเชียงราย โรงเรียนเทศบาล 1 (ศรีเกิด) รวมถึงยังไม่ครอบคลุมท่ารถโดยสารขนาดเล็ก บริเวณหน้าห้างบิ๊กซีซูเปอร์สโตร์ และบริเวณหน้าโรงพยาบาลเกษมราษฎร์ศรีบุรินทร์ ถ้าจังหวัดเชียงรายมีเส้นทางในการให้บริการรถโดยสารสาธารณะที่ครอบคลุมพื้นที่เพิ่มขึ้น หรือลดเส้นทางในการให้บริการที่ทับเส้นทางได้แล้ว น่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่ทำให้มีประชาชนหันมาใช้บริการรถโดยสารสาธารณะมากยิ่งขึ้น

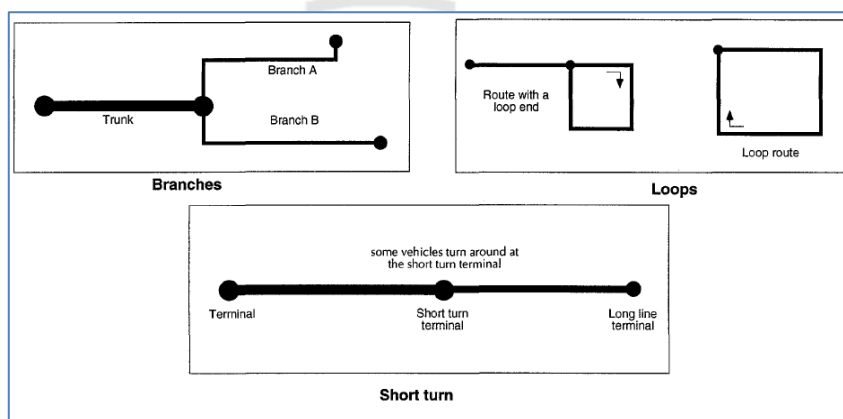
จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อออกแบบเส้นทางและจัดตารางรถโดยสารสาธารณะ เพื่อใช้ออกแบบและปรับปรุงคุณภาพการให้บริการรถโดยสารสาธารณะ



ภาพที่ 2.4 ปัญหาการให้บริการรถโดยสารสาธารณะ (ทับเส้นทาง) ในจังหวัดเชียงราย

## 2.3 การวางแผนและออกแบบระบบขนส่งสาธารณะ

วูชิก (Vuchic, 1981) อธิบายถึงองค์ประกอบทางกายภาพของระบบขนส่งสาธารณะ ที่มีความจำเป็นต้องได้รับการวางแผนและออกแบบเป็นอย่างดี โดยการออกแบบต้องคำนึงถึงรายละเอียดและระยะห่างในแต่ละเส้นทาง โดยขึ้นอยู่กับโครงข่ายของถนนเป็นสำคัญ การออกแบบแนวเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ อาจเป็นการเดินรถไปแล้วกลับ หรือเดินรถวนกลับมายังจุดเริ่มต้น (loops) (ดังแสดงในภาพที่ 2.5)



จาก Transportation Research Board. (1998). **Transit scheduling: Basic and advanced manuals**. Retrieved May 13, 2010, from [http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp\\_rpt\\_30-a.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_rpt_30-a.pdf)

ภาพที่ 2.5 รูปแบบเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ

การกำหนดเส้นทางให้บริการรถโดยสารสาธารณะ อาจเป็นเส้นทางเดินรถที่วิ่งในกระแสดูจราจรรอื่น ๆ วิ่งบนราง หรือเส้นทางที่แยกออกจากกระแสดูจราจร ด้วยการยกระดับหรือลอยฟ้าหรือใต้ดิน ทั้งนี้ เส้นทางของระบบขนส่งสาธารณะควรกำหนดให้ผ่านพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของผู้โดยสารสูง ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการออกแบบและรูปแบบของโครงข่ายรถประจำทางนั้น จะต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ไปพร้อม ๆ กัน อันได้แก่ (1) ลักษณะการใช้ที่ดิน โดยต้องพิจารณาถึงแหล่งดึงดูดการจราจรและลักษณะการใช้ที่ดิน เช่น แหล่งการจ้างงาน ศูนย์การค้า สถานศึกษา

สถานพยาบาล และย่านพักอาศัย เป็นต้น โดยต้องระบุถึงที่ตั้งลงบนแผนที่ซึ่งข้อมูลส่วนนี้จะมีประโยชน์ในการวางแผนการเดินทางประจำทาง (2) รูปแบบการเดินทางของผู้ใช้รถประจำทาง โดยต้องวิเคราะห์ถึงลักษณะการเดินทาง เพื่อให้ทราบทิศทางในการเดินทางของผู้ใช้รถประจำทาง โดยวิเคราะห์ถึงวัตถุประสงค์ในการเดินทาง ทิศทางการเดินทางในลักษณะเข้า-ออกย่านศูนย์กลางเศรษฐกิจ และ (3) ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อรูปแบบโครงข่าย ได้แก่ นโยบายของรัฐที่เกี่ยวกับระบบขนส่งมวลชน บทบาทของระบบขนส่งอื่น ๆ ในพื้นที่นั้น และลักษณะทางกายภาพของเมืองและภูมิประเทศ

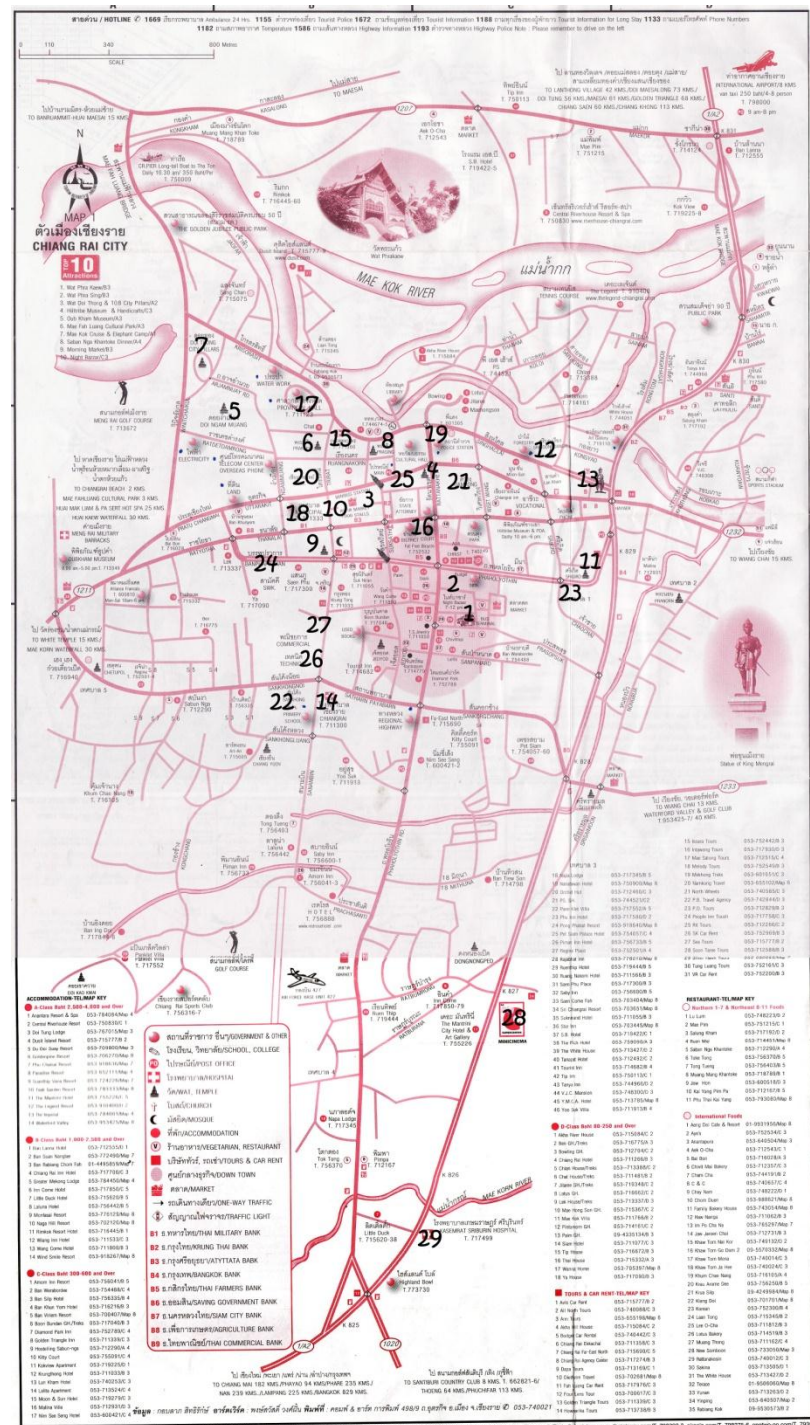
ในปี พ.ศ. 2547 บุญส่ง สัตโยภาส และคณะ ได้ศึกษาถึงวัตถุประสงค์การเดินทางของผู้พักอาศัยในเขตเทศบาลจังหวัดเชียงราย พบว่าการเดินทางจากบ้านไปทำงานเป็นวัตถุประสงค์หลักคิดเป็นอัตราส่วนสูงสุด คือ 46.2% รองลงมา คือ การเดินทางจากบ้านไปทำธุระอื่น ๆ 31.4% และการเดินทางจากบ้านไปโรงเรียน 19.0% จากข้อมูลวัตถุประสงค์การเดินทางข้างต้น ถ้าสามารถออกแบบเส้นทางรถโดยสารสาธารณะเพื่อให้บริการตามวัตถุประสงค์การเดินทางจากบ้านไปทำงาน และการเดินทางจากบ้านไปโรงเรียนได้แล้ว สามารถให้บริการประชาชนโดยส่วนใหญ่ คิดเป็น 65% ดังนั้น ในการศึกษารุ่นนี้ จึงเลือกใช้แหล่งดึงดูดการจราจรที่สำคัญในจังหวัดเชียงราย สามารถจำแนกเป็นกลุ่มย่อย คือ ศูนย์ราชการ โรงพยาบาล สถานศึกษา และสถานที่ท่องเที่ยว โดยส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน คือบริเวณเขตรอบเวียง (ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และภาพที่ 2.6)

ตารางที่ 2.1 แหล่งดึงดูดการเดินทางที่สำคัญในพื้นที่ ต.รอบเวียง อ.เมือง จ.เชียงราย

| หมายเลข | ชื่อสถานที่                                          |
|---------|------------------------------------------------------|
| 1       | สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดเชียงราย (ท่ารถสองแถวเล็ก) |
| 2       | เชียงรายไนท์บาร์ซาร์                                 |
| 3       | ตลาดสดเทศบาล 1 (ท่ารถสองแถวเล็ก)                     |
| 4       | วัดกลางเวียง (แหล่งท่องเที่ยว)                       |
| 5       | วัดจำเมือง (แหล่งท่องเที่ยว)                         |
| 6       | วัดพระแก้ว (แหล่งท่องเที่ยว)                         |
| 7       | วัดพระธาตุดอยจอมทอง (แหล่งท่องเที่ยว)                |
| 8       | วัดพระสิงห์ (แหล่งท่องเที่ยว)                        |
| 9       | วัดมิ่งเมือง (แหล่งท่องเที่ยว)                       |

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

| หมายเลข | ชื่อสถานที่                                                                                                                                                                                                               |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10      | วัดมุงเมือง (แหล่งท่องเที่ยว)                                                                                                                                                                                             |
| 11      | วัดศรีเกิด (แหล่งท่องเที่ยว)                                                                                                                                                                                              |
| 12      | วัดศรีบุญเรือง (แหล่งท่องเที่ยว)                                                                                                                                                                                          |
| 13      | อนุสาวรีย์พ่อขุนเม็งราย (แหล่งท่องเที่ยว)                                                                                                                                                                                 |
| 14      | โรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคราะห์ (ท่ารถสองแถวเล็ก)                                                                                                                                                                         |
| 15      | โรงพยาบาลโอเวอร์บรู๊ค (ท่ารถสองแถวเล็ก)                                                                                                                                                                                   |
| 16      | ที่ว่าการอำเภอเมืองเชียงราย, ศาลจังหวัดเชียงราย (ศูนย์ราชการ)                                                                                                                                                             |
| 17      | สำนักงานจังหวัดเชียงราย (ศูนย์ราชการ)                                                                                                                                                                                     |
| 18      | สำนักงานเทศบาลนครเชียงราย (ศูนย์ราชการ)                                                                                                                                                                                   |
| 19      | สำนักงานองค์การบริหารส่วนจังหวัด, ศาลากลาง (เก่า), สำนักงานสาธารณสุข, ที่ทำการไปรษณีย์โทรเลข, สำนักงานพาณิชย์จังหวัด, สำนักงานศึกษาธิการจังหวัด, สำนักงานประชาสัมพันธ์, กองกำกับการตำรวจภูธรจังหวัดเชียงราย (ศูนย์ราชการ) |
| 20      | โรงเรียนเชียงรายวิทยาคม (สถานศึกษา)                                                                                                                                                                                       |
| 21      | โรงเรียนดำรงราษฎร์สงเคราะห์ (สถานศึกษา)                                                                                                                                                                                   |
| 22      | โรงเรียนบ้านสันโค้ง (สถานศึกษา)                                                                                                                                                                                           |
| 23      | โรงเรียนวัดศรีเกิด (สถานศึกษา)                                                                                                                                                                                            |
| 24      | โรงเรียนสามัคคีวิทยาคม (สถานศึกษา)                                                                                                                                                                                        |
| 25      | โรงเรียนอนุบาลเชียงราย (สถานศึกษา)                                                                                                                                                                                        |
| 26      | วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย (สถานศึกษา)                                                                                                                                                                                        |
| 27      | วิทยาลัยพาณิชยการเชียงราย (สถานศึกษา)                                                                                                                                                                                     |
| 28      | บึงสี สาขาเชียงราย (ท่ารถสองแถวเล็ก)                                                                                                                                                                                      |
| 29      | โรงพยาบาลเกษมราษฎร์ศรีบุรินทร์ (ท่ารถสองแถวเล็ก)                                                                                                                                                                          |



ภาพที่ 2.6 แหล่งดึงดูดการจราจรที่สำคัญภายในพื้นที่ ต.รอบเวียง จ.เชียงราย

## 2.4 รูปแบบเส้นทางและลักษณะโครงข่ายการให้บริการขนส่งสาธารณะ

เกรย์ และ โฮเทล (Gray & Hotel, 1992) ได้อธิบายถึงรูปแบบเส้นทางให้บริการขนส่งสาธารณะ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**2.4.1 เส้นทางแนวรัศมี (Radial route)** เป็นเส้นทางในแนวรัศมีที่พุ่งออกจากย่านใจกลางเมืองสู่พื้นที่รอบนอก

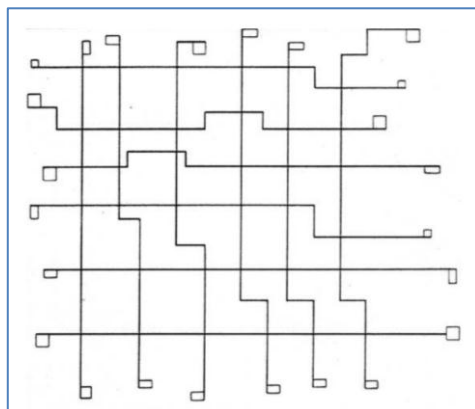
**2.4.2 เส้นทางแนวคircular (Circumferential route)** เป็นเส้นทางระหว่าง 2 จุดในพื้นที่ที่ไม่ต้องการผ่านเข้าไปในย่านใจกลางเมือง เป็นเส้นทางที่ช่วยเสริมทางในแนวรัศมีเพื่อให้การเดินทางบางเส้นทางที่ไม่ต้องการเข้าไปในย่านศูนย์กลางเมืองสะดวกและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

**2.4.3 เส้นทางสายย่อย (Feeder route)** เป็นเส้นทางสายสั้น ๆ ที่เป็นตัวป้อนการเดินทางในพื้นที่เข้าสู่เส้นทางสายหลัก คือ เส้นทางแนวรัศมี และเส้นทางแนวคircular เป็นส่วนที่ช่วยเสริมให้เส้นทางแนวรัศมี และเส้นทางข้ามเมืองมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น เส้นทางตัวป้อนนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมการจราจรไปป้อนให้แก่เส้นทางแนวรัศมีและเส้นทางข้ามเมืองที่ปลายทางหนึ่ง ในขณะที่เดียวกันจะทำหน้าที่เป็นตัวกระจายการจราจรในพื้นที่ศูนย์กลางด้วย

**2.4.4 เส้นทาง Shuttle route** เป็นเส้นทางที่เชื่อมระหว่างศูนย์กลางกิจกรรมหลัก อาทิเช่น ย่านใจกลางเมืองกับสถานีขนส่งอื่น ๆ เช่น สถานีรถไฟเป็นต้น

รูปแบบโครงข่ายรถประจำทางนั้นจะประกอบไปด้วยเส้นทางต่าง ๆ มาประกอบกันเป็นโครงข่าย โดยโครงข่ายขนส่งสาธารณะ แต่ละรูปแบบมีลักษณะเฉพาะที่สำคัญและมีความเหมาะสมต่อรูปแบบการให้บริการที่แตกต่างกันไป ดังต่อไปนี้

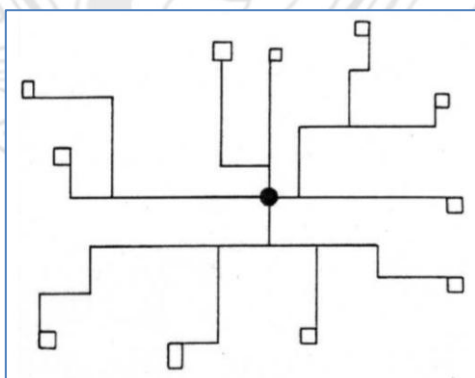
**รูปแบบที่ 1** โครงข่ายรูปแบบกริด (Grid type networks) เป็นรูปแบบโครงข่ายเส้นทางที่มีลักษณะค่อนข้างตรง มีแนวเส้นทางที่ขนานกัน และระยะห่างระหว่างของเส้นทางที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ข้อดีของโครงข่ายแบบนี้ คือ เป็นรูปแบบที่ เหมาะสมกับพื้นที่ ที่มีแหล่งศูนย์กลางธุรกิจหรือสถานที่สำคัญ ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่กระจายและห่างกันค่อนข้างมาก และเป็นโครงข่ายที่เข้าใจง่าย ข้อเสียของโครงข่ายแบบนี้คือ ผู้โดยสารมีความจำเป็นต้องต่อรถจำนวนมากในกรณีที่ต้องเดินทางในแนวทแยงมุม (ดังแสดงในภาพที่ 2.7)



จาก Grey, G.E. & Hotel, L.A., (1992). **Public transportation**. NJ: Prentice-Hall.

ภาพที่ 2.7 โครงข่ายระบบขนส่งสาธารณะรูปแบบกริด

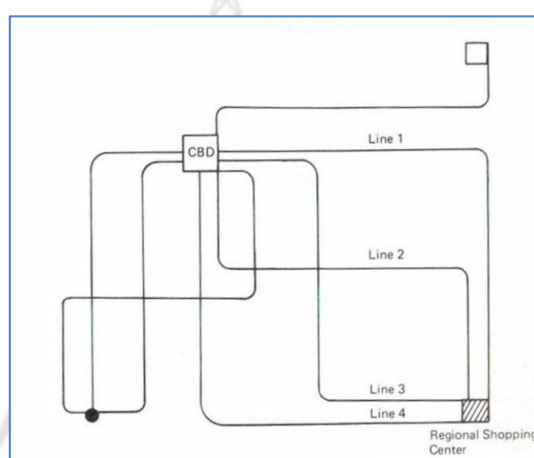
**รูปแบบที่ 2** โครงข่ายรูปแบบเส้นทางแนวรัศมี เป็นโครงข่ายเส้นทางที่ประกอบไปด้วยเส้นทางในแนวรัศมีออกจากศูนย์กลางเมืองไปยังพื้นที่รอบนอก วัตถุประสงค์ของการออกแบบโครงข่ายลักษณะนี้ เพื่อให้บริการสำหรับคนที่ต้องการเข้า-ออก เมือง (Major corridor) ข้อดีของโครงข่ายแบบนี้ คือ มีการเปลี่ยนถ่ายรถน้อย เพราะเส้นทางจะพุ่งตรงไปยังจุดอื่น ๆ แต่มีข้อเสีย คือ อาจไม่ครอบคลุมพื้นที่ และจุดรวมของเส้นทางอาจเกิดการติดขัด (ดังแสดงในภาพที่ 2.8)



จาก Grey, G.E. & Hotel, L.A., (1992). **Public transportation**. NJ: Prentice-Hall.

ภาพที่ 2.8 โครงข่ายระบบขนส่งสาธารณะรูปแบบรัศมี

**รูปแบบที่ 3** โครงข่ายรูปแบบรัศมีไขว้ (Radial crisscross network) โครงข่ายรูปแบบนี้จะประกอบไปด้วยเส้นทางในแนวรัศมีที่พุ่งออกจากย่านใจกลางเมืองไปยังพื้นที่รอบนอก โดยมีลักษณะเด่น คือ เส้นทางเหล่านี้จะไขว้ตัดกันมีลักษณะเป็นกริด ซึ่งทำให้ได้ทั้งรูปแบบกริดและเส้นทางรัศมีไปพร้อม ๆ กัน และเป็นการผสมผสานข้อดีทั้ง 2 รูปแบบคือ รูปแบบกริดจะให้เกิดความครอบคลุมพื้นที่ ในขณะที่เส้นทางในแนวรัศมีจะให้บริการคนจากใจกลางเมืองสู่พื้นที่รอบนอก (ดังแสดงในภาพที่ 2.9)



จาก Grey, G.E. & Hotel, L.A., (1992). **Public transportation**. NJ: Prentice-Hall.

**ภาพที่ 2.9** โครงข่ายระบบขนส่งสาธารณะรูปแบบรัศมีไขว้

**รูปแบบที่ 4** โครงข่ายผสม (Radial crisscross network) โครงข่ายแบบนี้จะเป็นการผสมระหว่างเส้นทางรูปแบบต่าง ๆ เพื่อนำข้อดีของแต่ละรูปแบบมาเสริมกัน ยกตัวอย่างเช่น รูปแบบผสมระหว่างเส้นทางแนวรัศมีกับเส้นทางแนวตัดรัศมี โดยจะเป็นการนำเส้นทางแนวตัดรัศมี ช่วยเสริมกับเส้นทางในแนวรัศมีเพื่อให้การเดินทางบางเส้นทาง ที่ไม่ต้องการเข้าไปในย่านศูนย์กลางเมืองจะสะดวกมีประสิทธิภาพมากขึ้น เป็นต้น

## 2.5 ขั้นตอนการวางแผนโครงข่ายรถโดยสารสาธารณะ

จากการศึกษาถึงขั้นตอนการวางแผนการให้บริการรถโดยสารสาธารณะ สามารถสรุปขั้นตอนการวางแผนโครงข่ายรถโดยสารสาธารณะได้ดังต่อไปนี้

**ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบเส้นทางและโครงข่าย (Network design)** การกำหนดเส้นทางและโครงข่ายสามารถพิจารณาจาก กำหนดเส้นทางตามที่กฎหมายกำหนด กำหนดขึ้นตามนโยบาย กำหนดขึ้นเพื่อการค้า กำหนดตามแหล่งชุมชน และอื่น ๆ ซึ่งการออกแบบเส้นทางและโครงข่ายจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลพื้นฐานหลายด้าน เช่น ข้อกำหนดกฎหมาย สภาพถนน ความต้องการในการเดินทาง ไกแอนโปลูซ (Giannpoulous, 1989) อธิบายถึงวิธีการออกแบบเส้นทางและโครงข่ายที่ดี ดังนี้ เส้นทางที่ออกแบบควรเป็นเส้นทางตรงเพื่อให้ผู้โดยสารเสียเวลาในการเดินทาง ควรหลีกเลี่ยงการวิ่งทับเส้นทาง ควรพิจารณาถึงเส้นทางที่มีปริมาณการเดินทางมากที่สุด โดยเส้นทางนั้น ๆ ต้องมีรายได้มากพอที่จะครอบคลุมค่าใช้จ่ายในการเดินรถ เว้นแต่ระบบนั้นจะเป็นระบบที่มีวัตถุประสงค์ทางสังคม และในแต่ละเส้นทางควรมีทิศทางไปกลับอยู่ในเส้นทางเดียวกัน เพื่อป้องกันความสับสนต่อผู้ใช้

**ขั้นตอนที่ 2 การจัดความถี่หรือระยะห่างในการเดินรถ (Frequency setting)** เป็นการกำหนดความถี่หรือการจัดระยะห่างของการเดินรถ (Headway) ของแต่ละเส้นทาง ให้ตรงกับความต้องการเดินทางของผู้โดยสาร วูชิก (Vuchic, 1981) ให้ความหมายของความถี่ (Frequency) คือจำนวนหน่วยการขนส่งที่ผ่านจุดที่กำหนดใน 1 ชั่วโมง (ดังแสดงในสมการที่ 2.1)

$$f = \frac{60}{h} \quad (2.1)$$

โดยที่

$f$  = ความถี่ (คันต่อชั่วโมง)

$h$  = การกำหนดระยะห่างของการเดินรถ (นาทีต่อคัน)

ความถี่ จะเป็นส่วนกลับของการกำหนดระยะห่างของการเดินรถ โดยทั่วไปความถี่ขึ้นอยู่กับปริมาณการเดินทางในช่วงเวลาต่าง ๆ ความจุของยานพาหนะ และการกำหนดระยะห่างของการเดินรถตามนโยบาย (Policy headway) ถึงค่าต่ำสุดและสูงสุดของการให้บริการควรเป็นเท่าใด โดยปกติแล้วค่าช่วงห่างของการให้บริการตามนโยบาย ถูกกำหนดโดยคำนึงถึงระดับการให้บริการต่ำที่สุดที่จะจัดให้บริการได้ ซึ่งจะเป็นความถี่ของการให้บริการที่กำหนดไว้ในช่วงนอกเวลาเร่งด่วน

ส่วนมากมักกำหนดให้มีค่าที่สามารถหารด้วย 60 ได้ลงตัว เช่น 60, 30, 20, 15, 12 และ 10 นาที เป็นต้น เพื่อความสะดวกแก่พนักงานในการให้บริการข้อมูล เวลาที่รถออกจากท่าแก่ผู้โดยสาร และสะดวกต่อการจดจำของพนักงานขับรถ สำหรับค่าช่วงเวลาการปล่อยรถที่สั้นกว่า 10 นาที ปัจจุบันดังกล่าวไม่มีความสำคัญหรือจำเป็นมากนัก เนื่องจากผู้โดยสารไม่ต้องใช้เวลาในการรอคอยมาก และมาใช้บริการที่ป้ายมากกว่าที่จะอ้างอิงกับเวลาให้บริการที่กำหนดไว้ในตารางเดินรถ

**ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดตารางเวลาให้บริการ (Timetable development)** เป็นการนำความถี่ในแต่ละช่วงเวลา (ชั่วโมง) มาสร้างเป็นตารางการให้บริการรถโดยสารสาธารณะ โดยให้ความสำคัญกับการจัดความถี่ในการเดินรถโดยสารให้เหมาะสม โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อให้ต้นทุนที่ใช้ในการเดินรถ กับคุณภาพของการบริการนั้น มีความสมดุลกัน โดยอาศัยหลักการจัดสรรความจุของระบบที่มีอยู่ให้เหมาะสมกับความต้องการในการเดินทางของผู้โดยสาร

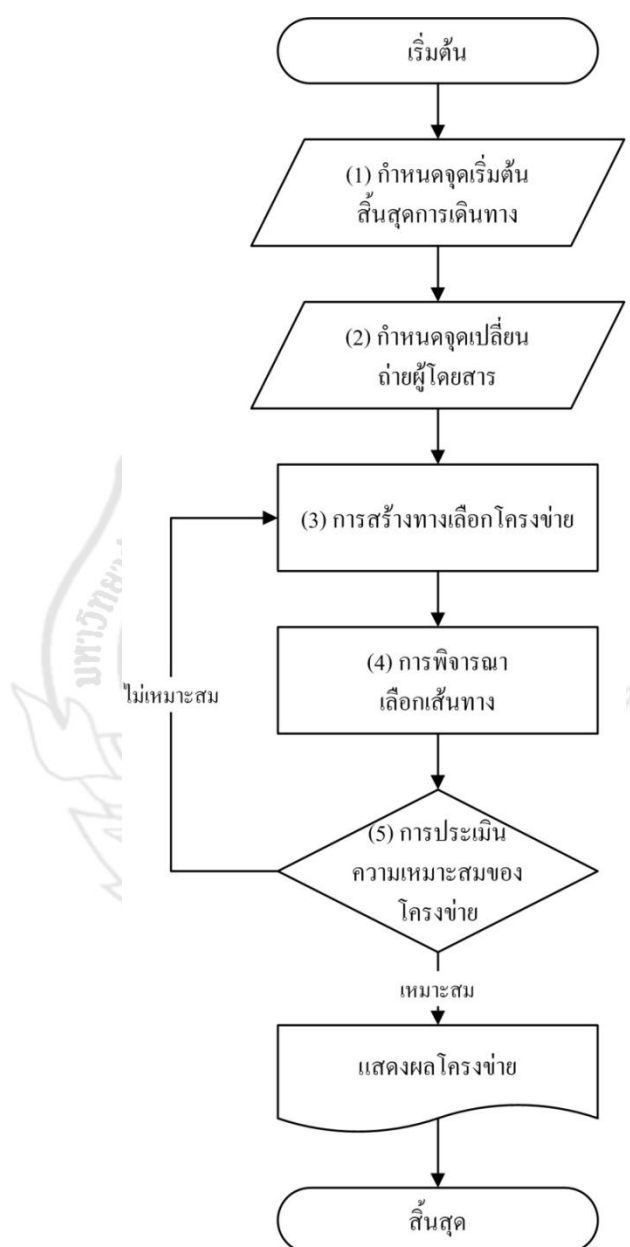
**ขั้นตอนที่ 4 การบริหารจัดการรถโดยสารสาธารณะให้สอดคล้องกับตารางเวลาให้บริการ (Vehicle scheduling)** โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อต้องการบริหารการเดินรถให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยใช้จำนวนรถน้อยที่สุด ซึ่งอาจมีการหมุนเวียนรถระหว่างเส้นทางในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน (Peak hours) โดยอาศัยข้อมูลของตารางและระยะเวลาเดินรถในแต่ละเส้นทาง ระยะห่างระหว่างเส้นทาง (Dead heading trips) รวมถึงเวลาสำหรับเติมน้ำมัน และการซ่อมบำรุง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ โดยมีเป้าหมายให้รถแต่ละคันสามารถวิ่งบนเส้นทาง จากจุดเริ่มต้นถึงสถานีปลายทางได้ตรงตามตารางเดินรถ (Timetable) ที่กำหนดไว้

**ขั้นตอนที่ 5 การกำหนดตารางเวลาปฏิบัติงานของพนักงาน (Crew scheduling)** เป็นการจัดการเกี่ยวกับชั่วโมงปฏิบัติงานของพนักงาน ระยะเวลาพักในระหว่างชั่วโมงปฏิบัติงานของพนักงานแต่ละคน ซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ประกอบการเดินรถในการบริหารทรัพยากรบุคคลให้เกิดประสิทธิภาพ และเกิดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อยที่สุด

การวางแผนการให้บริการรถประจำทางทั้ง 5 ขั้นตอนมีความสัมพันธ์กันและในทุกขั้นตอนส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดำเนินงานของผู้ให้บริการขนส่งสาธารณะ ไม่ว่าจะเป็นการวางแผนในเชิงนโยบาย ในขั้นตอนที่ 1-3 หรือการวางแผนเชิงปฏิบัติการในขั้นตอนที่ 4-5 ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ส่งผลต่อต้นทุนการดำเนินงานทั้งสิ้น

## 2.6 ขั้นตอนการออกแบบเส้นทางและโครงข่ายรถโดยสารสาธารณะ

ขั้นตอนการออกแบบเส้นทางและโครงข่ายรถโดยสารสาธารณะ แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 2.10)



ภาพที่ 2.10 ขั้นตอนการออกแบบเส้นทางและโครงข่ายเดินรถโดยสารสาธารณะ

**2.6.1 การจับคู่ระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการเดินทาง (Origin-Destination pairs)** ซึ่งจะกระทำภายใต้ความต้องการในการเดินทางและรูปแบบในการเดินทาง จากจุดเริ่มต้นถึงจุดสิ้นสุดการเดินทาง เมื่อสามารถจับคู่ระหว่างความต้องการในการเดินทางและเส้นทางที่ใช้สำหรับเดินทางได้แล้ว จะทำการออกแบบในรายละเอียดของข้อกำหนดต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น การกำหนดตำแหน่งของสถานี และสิ่งอำนวยความสะดวก เป็นต้น

**2.6.2 การกำหนดจุดเปลี่ยนถ่ายผู้โดยสาร (Transfer stations)** เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้โดยสารในการเปลี่ยนรถไปยังเส้นทางอื่น ๆ

**2.6.3 การกำหนดเส้นทาง (Route determinations)** ขั้นตอนนี้ให้ความสำคัญกับจุดเปลี่ยนถ่ายผู้โดยสาร และตำแหน่งของโรงซ่อม โดยที่เส้นทางเดินรถอาจถูกกำหนดให้เป็นเส้นทางเดินรถที่มี 2 สถานี คือ จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด หรือเป็นเส้นทางเดินรถที่มีเพียงสถานีเดียว โดยมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดการเดินทางเป็นจุดเดียวกัน (loop) (ดังแสดงในภาพที่ 2.5)

**2.6.4 การพิจารณาเลือกเส้นทาง (Selected routes)** โดยพิจารณาและประเมินตามเกณฑ์ 2 ข้อหลัก คือ (1) ความยาวของเส้นทางต้องไม่สั้นหรือยาวเกินไป ทำให้ยากต่อการบริหารจัดการ (2) ความยากง่ายต่อการเข้าถึงและระยะห่างระหว่างเส้นทาง โดยการพิจารณาเลือกเส้นทางจะเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าใช้จ่ายโดยรวมในการเดินทาง (total transport cost) โดยเลือกจากเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด

**2.6.5 การประเมินโครงข่ายโดยรวม (Overall evaluation)** เป็นการประเมินทั้งโครงข่ายที่ได้ทำการคัดเลือกเส้นทางเดินรถทั้งหมด ในเรื่องระดับของการให้บริการ และค่าใช้จ่ายของการขนส่งทั้งหมด ซึ่งหากใช้งบประมาณสูงแต่ระดับการให้บริการต่ำ จำเป็นต้องทำการวางแผนใหม่ทุกขั้นตอนเพื่อให้ได้ผลการประเมินเป็นที่ยอมรับ

วิธีการออกแบบโครงข่ายรถโดยสารสาธารณะ ได้มีผู้ทำการศึกษาไว้มากมาย โดยมีความหลากหลายในการออกแบบขึ้นอยู่กับวิธีการ ความจำกัดของข้อมูล และระยะเวลาในการออกแบบ ตลอดจนเครื่องมือ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการออกแบบและตัดสินใจ ชูอา (Chua, 1984) ได้แบ่งประเภทของวิธีการออกแบบโครงข่ายรถประจำทาง โดยพิจารณาจากความแตกต่างในระดับของวิธีการที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูล ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 5 วิธีการหลัก (ดังแสดงในตารางที่ 2.2) โดยที่ทั้ง 5 วิธีการ สามารถสรุปวิธีการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบโครงข่ายที่เกิดขึ้นได้ดังต่อไปนี้ ในส่วนนี้จะขออธิบายถึงข้อแตกต่างของวิธีการออกแบบเส้นทางเดินรถขนส่งสาธารณะ

เฉพาะในขั้นตอนที่ (3) คือ การกำหนดเส้นทางโครงข่ายรถโดยสารสาธารณะ ถึงขั้นตอนที่ (5) การพิจารณาความเหมาะสมของโครงข่ายรถโดยสารสาธารณะ (ดังแสดงในภาพที่ 2.10) เท่านั้น

**ตารางที่ 2.2** วิธีการสร้างและประเมินโครงข่ายเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ

| วิธีการสร้าง<br>โครงข่ายทางเลือก | วิธีการประเมินโครงข่ายทางเลือก |         |                         |                      |
|----------------------------------|--------------------------------|---------|-------------------------|----------------------|
|                                  | คอมพิวเตอร์                    |         |                         | โต้ตอบ<br>ด้วยรูปภาพ |
|                                  | ทำด้วยมือ                      | บางส่วน | ปรับชุดคำสั่ง           |                      |
| ทำด้วยมือ                        | Manual<br>Approach             | MAP     | System<br>Analysis (SA) | SAIG                 |
| คอมพิวเตอร์                      | -                              | -       | Mathematical<br>Model   | -                    |

จาก Chua, T. A. (1984). The planning of urban bus route and frequencies: a survey. **Transportation**, 12, 147-172.

การประเมินจากประสบการณ์ของผู้วิเคราะห์ (วิธีการ Manual approach) วิธีการนี้อาศัยข้อมูลเชิงคุณภาพ หรืออาศัยจากประสบการณ์ของผู้ออกแบบในการตัดสินใจ วิธีการนี้เหมาะสำหรับโครงข่ายที่ออกแบบโครงข่ายขนาดเล็ก และระยะเวลาในการดำเนินการไม่มาก ในขั้นตอนการสร้างแนวทางเลือกของโครงข่ายเส้นทางรถประจำทาง (ขั้นตอนที่ 3) จะอาศัยความรู้ ความสามารถ ประสบการณ์ หรือวิจารณ์ของผู้วางแผนช่วยในการออกแบบโครงข่ายเส้นทางรถประจำทาง และในขั้นตอนของการประเมินความเหมาะสมของโครงข่ายเส้นทางรถประจำทาง (ขั้นตอนที่ 5) อาศัยข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative guidelines) หรือเชิงตัวเลข ประกอบการตัดสินใจเพียงบางส่วนเท่านั้น ส่วนใหญ่จะอาศัยข้อมูลจากประสบการณ์ของผู้วิเคราะห์เอง โดยอาจนำความคิดเห็นของผู้ที่เกี่ยวข้อง และข้อเสนอแนะจากผู้ให้บริการมาพิจารณาด้วย ซึ่งข้อดีของวิธีการนี้ คือ เป็นวิธีการที่สะดวกและรวดเร็ว แต่มีข้อเสียที่ขาดรายละเอียดและความชัดเจนของผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากไม่เน้นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ

**การวิเคราะห์โดยการสร้างสถานการณ์จำลอง** (สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์, ม.ป.ป.) เป็นการจำลองสถานการณ์เพื่อประเมินโครงข่ายทางเลือกเชิงปริมาณที่กำหนดไว้เพื่อเลือกแนวทางที่เหมาะสมและตรงตามความต้องการมากที่สุด ยกตัวอย่างเช่น วิธี Market Analysis Project approach (MAP) วิธีการนี้มีเป้าหมายการออกแบบเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด ภายใต้ข้อจำกัดด้านงบประมาณในการลงทุน โดยเริ่มต้นจากการรวบรวมและวิเคราะห์ความต้องการในการเดินทาง ประกอบกับข้อมูลเศรษฐกิจและสังคมของพื้นที่ศึกษา ในขั้นตอนที่ 3 การสร้างแนวทางเลือกของโครงข่ายเส้นทางรถประจำทางใช้วิธีการประเมินจากประสบการณ์ของผู้วิเคราะห์เอง โดยอาจพิจารณาจากโครงข่ายเดิมที่มีอยู่แล้ว ประกอบการพิจารณาสร้างโครงข่ายเส้นทางรถประจำทางใหม่ และในขั้นตอนที่ 5 การประเมินความเหมาะสมของโครงข่ายเส้นทางรถประจำทาง จะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการประมวลผลโครงข่ายทางเลือก นอกจากนั้นยังมีวิธีการ System Analysis approach (SA) และวิธีการ System Analysis with Interactive Graphic approach (SAIG) ซึ่งทั้งสองวิธีคล้ายกับวิธีการของ Market Analysis Project approach (MAP) มีความแตกต่างที่ในขั้นตอนการประเมินความเหมาะสมของโครงข่ายเส้นทางรถประจำทาง วิธีการ System Analysis approach (SA) มีการใช้ข้อมูลเชิงปริมาณช่วยในการวิเคราะห์และประเมินผลมากขึ้น โดยที่วิธีการ SAIG เพิ่มกระบวนการ ติดต่อกับผู้ใช้ (Interactive Graphic) เพื่อช่วยให้ผู้ออกแบบกับเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถเลือกโครงข่ายรถประจำทางได้รวดเร็วขึ้นและสามารถประเมินความเหมาะสมได้มากขึ้น

**การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคณิตศาสตร์ (Mathematical approach)** เป็นวิธีการออกแบบที่วิเคราะห์โครงข่ายเส้นทางให้บริการรถประจำทางที่ดีวิธีการหนึ่ง โดยอาศัยเทคนิคทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองพฤติกรรมการเดินทางของประชาชนภายในพื้นที่ศึกษา โดยข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบจะอาศัยข้อมูลเรขาคณิตที่ประกอบไปด้วยโหนด (Nodes) และลิงค์ (Links) ของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา และข้อมูลสถิติที่เกี่ยวกับปริมาณการเดินทางของประชาชนในพื้นที่ศึกษา ซึ่งในขั้นตอนของกระบวนการสร้างแนวทางเลือกของโครงข่ายเส้นทางรถประจำทาง (ขั้นตอนที่ 3) ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการสร้างเส้นทางให้บริการรถโดยสารประจำทาง โดยอาศัยการออกแบบปัญหาในรูปแบบคณิตศาสตร์ที่มีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่ง วัตถุประสงค์ในการวางแผนและออกแบบ เช่น เพื่อให้เกิดรายได้สูงสุด หรือเพื่อให้เสียค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด หรือเพื่อให้เกิดจำนวนของการวิ่งรถที่ขยับเปลาให้น้อยที่สุดเป็นต้น และส่วนที่สอง ข้อจำกัดของการดำเนินงาน เช่น จำนวนเส้นทางที่ให้บริการ หรือ ระยะทางในการให้บริการ ในขั้นตอนของการประเมินความเหมาะสมของโครงข่ายเส้นทางรถประจำทาง (ขั้นตอนที่ 5) ทำได้โดยนำฟังก์ชันวัตถุประสงค์และข้อจำกัด ที่ออกแบบมาพิจารณาร่วมกัน และทำการวิเคราะห์ผลจากสมการ

วัตถุประสงค์ และข้อจำกัดที่ระบุ ผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยให้ผู้วิเคราะห์สามารถเลือกแนวทางที่เหมาะสมและสอดคล้องกับเงื่อนไขที่ต้องการมากที่สุด วิธีการนี้เป็นวิธีการหนึ่งที่มีความน่าเชื่อถือ และสามารถยืนยันได้ว่าโครงข่ายที่ทำการออกแบบเป็นโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพที่สุดตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และข้อจำกัดที่กำหนดขึ้น

การออกแบบโครงข่ายเส้นทางรถโดยสารสาธารณะ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นปัญหาการตัดสินใจที่มีความซับซ้อนทั้งในด้านของตัวแปรและข้อจำกัด ในการตัดสินใจจำนวนมาก ในบางครั้งอาจไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ ซึ่งเรียกปัญหาลักษณะนี้ว่าปัญหา NP hard problem ซึ่ง ชูอา (Chua, 1984) ได้แบ่งวิธีการออกแบบ Mathematical approach ตามลักษณะของการจำลองและการแก้ปัญหาของการออกแบบเป็น 3 วิธีย่อย ดังนี้

1. Analytical type mathematical approach เป็นการออกแบบเส้นทางรถประจำทาง โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แทนพฤติกรรมและประสิทธิภาพของระบบรถโดยสารประจำทาง โดยโครงข่ายเส้นทางรถประจำทางที่ใช้ในการออกแบบเป็นรูปแบบเรขาคณิตง่าย ๆ (Ideal networks) เช่น โครงข่ายรูปแบบจัตุรัส (Square grid networks) โครงข่ายแบบขนาน (Parallel bus networks) และโครงข่ายแบบรัศมี (Radial bus networks) เป็นต้น การวิเคราะห์เลือกโครงข่ายเส้นทางรถโดยสารประจำทางจะอาศัยหลักการแก้ปัญหาในรูปแบบการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization) เพราะในรูปแบบโครงข่ายเส้นทางรถประจำทางไม่ซับซ้อน จึงสามารถจำลองปัญหาให้เป็นสมการเป้าหมาย (Objective function) และข้อจำกัด (Constraint) ได้ไม่ยากนัก แต่ในการวางแผนออกแบบจริง โครงข่ายเส้นทางรถประจำทางนั้นจะมีรูปลักษณะที่ซับซ้อนวิธีการนี้จึงไม่เหมาะสมสำหรับการใช้วางแผนออกแบบกับโครงข่ายถนนทั่วไปได้

2. Exact type mathematical approach เป็นวิธีการที่สามารถรับประกันการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal solution) ได้ในทุก ๆ ครั้งของการทำงานของโปรแกรม แต่มีข้อจำกัดเมื่อปัญหามีความซับซ้อนขึ้น หรือมีเงื่อนไขและตัวแปรการตัดสินใจมากขึ้น ต้องใช้ทรัพยากรในการหาคำตอบมากขึ้น ทั้งในเรื่องของเวลา และหน่วยความจำ รวมไปถึงประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล ด้วยเหตุนี้เองจึงมีผู้วิจัยหลายท่าน แยกพิจารณาเป็นปัญหาย่อยเฉพาะกรณี อาทิ ซีเดอร์ และวิลสัน (Ceder & Wilson, 1986) สร้างสมการเป้าหมายในการออกแบบโครงข่ายเส้นทางรถประจำทางเพื่อหาค่าใช้จ่ายทั้งหมดของผู้โดยสารและผู้ประกอบการรถประจำทาง ในขั้นตอนการสร้างแนวทางเลือกของโครงข่ายเส้นทางรถประจำทาง โดยได้ใช้เวลาในการเดินทางเป็นตัวพิจารณาเลือกเส้นทางรถประจำทางที่เป็นไปได้ โดยนำเส้นทางที่เป็นไปได้มาประกอบกันเป็นแนวทางเลือกเพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมด และเลือกโครงข่ายที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด (ธีรยุทธ ดันติวิญญู

พงษ์, 2535) พัฒนาเครื่องมือในการออกแบบโครงข่ายเส้นทางรถประจำทาง เมื่อทราบความต้องการในการเดินทาง กรณีศึกษาเขตเมืองเชียงใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกโครงข่ายที่ค่าใช้จ่ายในการเดินทางโดยระบบรถประจำทางน้อยที่สุด

3. Heuristic type mathematical approach เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถหาคำตอบที่ดีได้ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว วิธีการนี้เหมาะสำหรับปัญหาการตัดสินใจที่ไม่มีโครงสร้าง บางครั้งไม่สามารถอธิบายด้วยขั้นตอนหรือวิธีการที่ชัดเจน หรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมหรือไม่มีอัลกอริทึมใด ๆ สามารถที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาดังกล่าว วิธีการฮิวริสติกส์จึงถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการหาคำตอบของแต่ละปัญหาเท่านั้น เช่นวิธีการ Saving algorithm คลาก และไวท์ (Clarke & Wright, 1964) วิธีการนี้เป็นวิธีที่ได้รับการนิยมนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในทางปฏิบัติ เพราะเป็นวิธีการที่ง่ายและตรงไปตรงมา แม้ว่าวิธีการนี้จะไม่ประกันถึงการได้คำตอบที่ดีที่สุดก็ตาม ต่อมาได้มีการพัฒนาวิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Meta heuristic method) เพื่อแก้ปัญหาของวิธีการฮิวริสติกส์ที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาหนึ่ง ๆ ไม่สามารถนำไปใช้กับปัญหาอื่นได้ โดยการพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์ที่ยืดหยุ่นมากขึ้นและสามารถดัดแปลงไปใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจใด ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างของวิธีการเมตาฮิวริสติกส์ เช่น วิธีการหาคำตอบที่ป้องกันการเข้าสู่ค่าเดิมหรือวิธีทาบู (Tabu search) รวมทั้งวิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด วิธีการฮิวริสติกส์และวิธีเมตาฮิวริสติกส์ ยังคงอยู่ในความสนใจในการทำวิจัย โดยมีนักวิจัยที่พยายามที่จะปรับปรุงและพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดเพื่อให้สามารถหาคำตอบได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และขณะเดียวกันก็ปรับปรุงวิธีการแก้ปัญหาของวิธีการฮิวริสติกส์และวิธีเมตาฮิวริสติกส์ เพื่อให้สามารถหาคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดมากขึ้น

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคณิตศาสตร์ เพื่อสร้างโครงข่ายเส้นทางรถโดยสารโดยสาธารณะ จากการศึกษาพบว่า วิธีการออกแบบโครงข่ายรถโดยสารสาธารณะนั้น เป็นรูปแบบหนึ่งในปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem) ซึ่งเป็นปัญหาที่มีผู้ศึกษาวิจัยอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีความสนใจด้านประโยชน์ของการจัดการขนส่ง และมีรูปแบบของปัญหามากมาย

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะเป็นปัญหาที่มีแนวความคิดของปัญหาเริ่มต้น ดังต่อไปนี้

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย 1 คน (TSP: Travelling Salesman Problem) โดยมีเงื่อนไขว่าพนักงานจะต้องเดินทางผ่านทุกเมืองและเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้น (Loop) โดยมีระยะทางรวมในการเดินทางสั้นที่สุด

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย M คน (MTSP: M-Travelling Salesman Problem) เป็นรูปแบบปัญหาที่พัฒนามาจากการเดินทางของพนักงานขาย 1 คน เป็นการเดินทางของพนักงาน M คน โดยมีระยะทางรวมของพนักงานทั้งหมดสั้นที่สุด โดยไม่มีเงื่อนไขข้อจำกัดด้านระยะทางในการให้บริการของพนักงานขายแต่ละคน และข้อจำกัดด้านการบรรทุก

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (VRP: Vehicle Routing Problem) (Toth & Vigo, 2002) เป็นรูปแบบปัญหาที่ รับ/ส่งสินค้าให้ลูกค้า โดยมีศูนย์กลางเพียงแห่งเดียวคือคลังสินค้า (Depot) โดยเพิ่มข้อจำกัดด้านเวลาหรือระยะทางในการให้บริการของยานพาหนะแต่ละคัน หรือมีข้อจำกัดอื่น ๆ เพิ่มเติม ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะมีข้อจำกัดด้านการบรรทุก (CVRP: Capacitated Vehicle Routing Problem) ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะมีข้อจำกัดด้านเวลาในการให้บริการ (VRPTW: Vehicle Routing Problem with Time Windows) และต่อมาได้มีการพัฒนาให้มีศูนย์กลางการกระจายสินค้ามากยิ่งขึ้น หรือที่เรียกว่า Multi Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP) โดยเพิ่มศูนย์กลางกระจายสินค้า (Depot) ให้มากขึ้น แต่รูปแบบการให้บริการยังคงเหมือนเดิม คือ เริ่มต้นและสิ้นสุดที่สถานี (เดิม) และได้มีการขยายรูปแบบการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบเปิด (Open Vehicle Routing Problem) โดยมีลักษณะ คือ เมื่อให้บริการถึงลูกค้าคนสุดท้าย แล้วยังไม่กลับมาที่สถานี (รอให้บริการลูกค้าคนต่อไป) การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้การจัดเส้นทางยานพาหนะในรูปแบบมีหลายศูนย์กลางกระจายสินค้า ร่วมกับวิธีการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบเปิด กล่าวคือ กำหนดให้มีการให้บริการในลักษณะสถานีเริ่มต้นและสิ้นสุดอาจไม่เป็นสถานีเดียวกันก็ได้ หรือไม่จำเป็นต้องกลับมาที่สถานีเดิม (Open Multi Depot Vehicle Routing Problem)

การออกแบบเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย เดนต์ซิก และรามเซอร์ (Dantzig & Ramser, 1959) โดยในครั้งนั้นผู้วิจัยได้ใช้ทฤษฎีกราฟช่วยในการอธิบายองค์ประกอบของระบบถนน โดยสามารถอธิบายคำนิยามพื้นฐานของทฤษฎีกราฟ (นิตยา ณ เชียงใหม่, ม.ป.ป.) ในส่วนที่เกี่ยวข้องได้ดังต่อไปนี้

นิยาม 1 กราฟ  $G$  คือ คู่อันดับ  $(V(G), E(G))$  โดยที่  $V(G)$  เป็นเซตจำกัดที่ไม่เป็นเซตว่างของสมาชิกที่เรียกว่าจุด (Vertex) และ  $E(G)$  เป็นแฟมิลีจำกัดของคู่ไม่อันดับของสมาชิกใน  $V(G)$  ซึ่งเรียกสมาชิกว่าเส้น (Edge) โดยทั่วไปจะแทนกราฟ  $G$  ใด ๆ ด้วยแผนภาพ (diagram) ซึ่งประกอบไปด้วยจุดและเส้น โดยที่จุดของแผนภาพ คือ สมาชิกของ  $V(G)$  และเส้นของแผนภาพ คือ สมาชิกของ  $E(G)$  โดยเส้น  $e = (u, v)$  ใด ๆ ใน  $E(G)$  จะเป็นเส้นเชื่อมระหว่างจุด  $u$  และจุด  $v$

นิยาม 2 มัลติเพิลเอดจ์ (Multiple edge) คือ เส้นเชื่อมที่มีมากกว่าหนึ่งเส้นซึ่งเชื่อมในคู่จุดคู่เดียวกัน

นิยาม 3 ลูป (loop) คือเส้นเชื่อมที่อยู่ในรูป  $e = (v, v)$

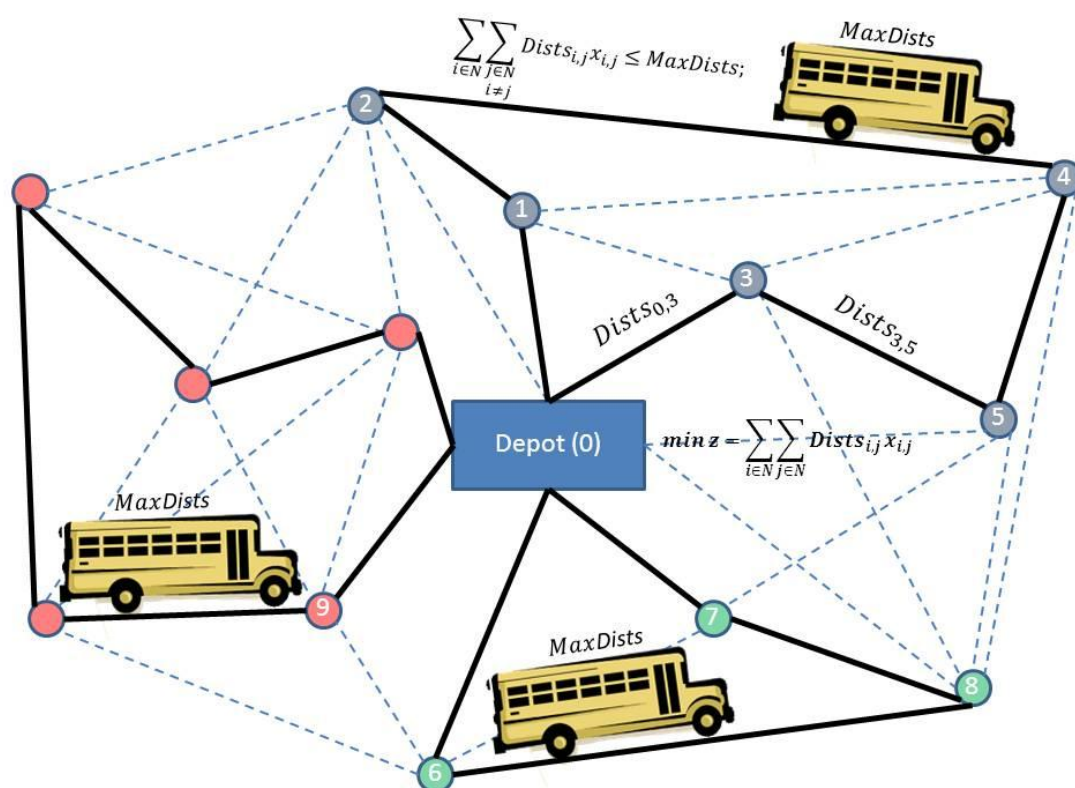
นิยาม 4 มัลติกราฟ (Multigraph) คือ กราฟที่มีมัลติเพิลเอดจ์ (Multiple edge) และไม่มีลูป

นิยาม 5 ไดรอกเทดกราฟหรือไดกราฟ (Directed graph or Digraph or  $D$ ) คือ คู่อันดับ  $(V(D), A(D))$  โดยที่  $V(D)$  เป็นเซตจำกัดที่ไม่เป็นเซตว่างของสมาชิกที่เรียกว่าจุด (Vertex) และ  $A(D)$  เป็นแฟมิลีจำกัดของคู่อันดับของสมาชิกใน  $V(D)$  ซึ่งเรียกสมาชิกของ  $A(D)$  ว่า อาร์ค (arc) โดยทั่วไป แทนไดกราฟ  $D$  ใด ๆ ด้วยแผนภาพ (Diagram) ซึ่งประกอบไปด้วยจุดและเส้นที่มีทิศทางของลูกศรกำกับไว้ในแต่ละเส้น โดยที่จุดของแผนภาพ คือ สมาชิกของ  $V(D)$  และเส้นที่มีลูกศรกำกับ คือ สมาชิกของ  $A(D)$  และเรียกอาร์ค  $e = (u, v)$  ใด ๆ ใน  $A(D)$  ว่าอาร์คจากจุด  $u$  ไปจุด  $v$  ซึ่งอาร์คนี้จะเส้นที่มีหัวลูกศรพุ่งจากจุด  $u$  ไปจุด  $v$  และเนื่องจาก  $A(D)$  เป็นแฟมิลีของคู่อันดับของจุดใน  $V(D)$  ดังนั้น อาร์ค  $(u, v)$  จะต่างจากอาร์ค  $(v, u)$

ซึ่งในครั้งนั้นเคนท์ซิกและรามเซอร์ ใช้ทฤษฎีกราฟในการออกแบบ โดยเขียนได้ออยู่ในรูปของ  $G(V, A)$  ประกอบด้วยเซตของโหนดและเอจหรือลิงค์

เซตของโหนด (Node) เป็นเซตของจำนวนลูกค้าที่ต้องให้บริการ  $V = \{0, 1, 2, \dots, n\}$  โดยกำหนดให้โหนด 0 เป็นสถานี Depot (จุดเริ่มต้นและสิ้นสุดการให้บริการ) (ดังแสดงในภาพที่ 2.11)

เซตของเอจหรือลิงค์ (Edges or Links) หมายถึง เส้นทางถนนที่เชื่อมระหว่างโหนดต่าง ๆ  $A = \{(i, j) | i, j \in V, i \neq j\}$  โดยในแต่ละเส้นเชื่อมจะมีข้อมูลระยะทางในการเดินทาง ( $Dist_{i,j}$ ) จากโหนด  $i$  ไปยังโหนด  $j$  (ดังแสดงในภาพที่ 2.11)



จาก Chimani, M. (2008). **Vehicle routing**. Retrieved May 13, 2010, from <http://ls11-www.cs.uni-dortmund.de/people/chimani/VehicleRouting/>

ภาพที่ 2.11 คุณสมบัติโดยทั่วไปของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

จากภาพที่ 2.11 แสดงถึงคุณสมบัติโดยทั่วไปของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่สามารถอธิบายคุณสมบัติโดยทั่วไป โดยมีรายละเอียดของเซต พารามิเตอร์ ตัวแปรการตัดสินใจ (ดังแสดงในตารางที่ 2.3) และรายละเอียดอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 เซต พารามิเตอร์ และตัวแปรที่ใช้เพื่อออกแบบปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

| เซต พารามิเตอร์ | รายละเอียด                                                                                                                                                                                   |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ตัวแปร          |                                                                                                                                                                                              |
| $N$             | จำนวนโหนดที่ต้องให้บริการในที่นี้จะแทน $V$ หรือเซตของจุด (โหนด) ด้วย $N$ และกำหนดให้ $N = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ เพื่อความสะดวกต่อการทำความเข้าใจ                                            |
| $i, j, k$       | ดัชนีการเดินทางโหนด $i, j, k$                                                                                                                                                                |
| $Dists_{i,j}$   | ระยะทางจากโหนด $i$ ไปโหนด $j$ (หน่วย: เมตร)                                                                                                                                                  |
| $MaxDists$      | ระยะทางสูงสุดที่อนุญาตให้เดินทางในแต่ละเส้นทาง เพื่อป้องกันมิให้เส้นทางใดเส้นทางหนึ่งมีระยะทางในการให้บริการที่มากเกินไป (หน่วย: เมตร)                                                       |
| $x_{i,j}$       | เป็นตัวแปรตัดสินใจชนิดเลขฐาน 2 (Binary base) คือ มีค่าที่เป็นไปได้คือ 0 กับ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 1 กรณีที่เส้นทางจาก $i$ ไป $j$ เป็นเส้นทางที่เหมาะสมในการให้บริการและมีค่าเท่ากับ 0 กรณีอื่น ๆ |
| $ Route $       | จำนวนเส้นทางสูงสุดที่กำหนดให้บริการ                                                                                                                                                          |

1. ยานพาหนะแต่ละคันจะต้องเริ่มต้นและสิ้นสุดที่สถานี (Depot) โดยสามารถอธิบายข้อจำกัด จำนวนเส้นทางที่ออกให้บริการจากสถานี (Depot or 0) ไปสถานี ( $j$ ) ใด ๆ ต้องมีค่าไม่เกินจำนวนเส้นทางสูงสุดที่กำหนดไว้ (ดังแสดงในสมการที่ 2.2 และภาพที่ 2.11)

$$\sum_{j \in N} x_{0,j} \leq |Route| \quad (2.2)$$

ข้อจำกัด จำนวนเส้นทางที่เสร็จสิ้นการให้บริการจากสถานี ( $i$ ) ไปสถานี (Depot or 0) ต้องมีค่าเท่ากับจำนวนเส้นทางที่ออกให้บริการจากสถานี (Depot or 0) ไปสถานี ( $j$ ) ใด ๆ (ดังแสดงในสมการที่ 2.3 และภาพที่ 2.11)

$$\sum_{i \in N} x_{i,0} = \sum_{j \in N} x_{0,j} \quad (2.3)$$

2. ลูกค้าจะต้องได้รับบริการ (เสร็จสิ้น) จากเส้นทางเดียวเท่านั้น โดยสามารถอธิบายข้อจำกัดผลรวมจำนวนเส้นทางที่เสร็จสิ้นการให้บริการจากลูกค้า ( $i$ ) ไปที่สถานี ( $j$ ) ใด ๆ (ผลรวมในแนวคอลัมน์  $j$ ) ต้องมีค่าเท่ากับ 1 (ดังแสดงในสมการที่ 2.4 และภาพที่ 2.11)

$$\sum_{j \in N} x_{i,j} = 1; \{\forall i \in N\} \quad (2.4)$$

ข้อจำกัดลูกค้าแต่ละคน ต้องได้รับการให้บริการเพียงเส้นทางเดียวเท่านั้น หรือผลรวมจำนวนเส้นทาง จากลูกค้า ( $i$ ) ใด ๆ (ผลรวมในแนวแถว  $i$ ) ที่เข้าให้บริการให้บริการในสถานี ( $j$ ) ต้องมีค่าเท่ากับ 1 (ดังแสดงในสมการที่ 2.5 และภาพที่ 2.11)

$$\sum_{i \in N} x_{i,j} = 1; \{\forall j \in N\} \quad (2.5)$$

3. ข้อจำกัด ระยะทางที่ให้บริการในแต่ละเส้นทางจะต้องไม่เกินระยะทางที่กำหนด (Limit constraint) ไว้อย่างสูงสุด (ดังแสดงในสมการที่ 2.6 และภาพที่ 2.11)

$$\sum_{i \in N} \sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} Dists_{i,j} x_{i,j} \leq MaxDists; \quad (2.6)$$

4. ค่าตอบของแบบจำลองต้องการหาเส้นทางที่มีระยะทางการให้บริการรวมต่ำที่สุด โดยสามารถเขียนเป็นสมการวัตถุประสงค์ (ดังแสดงในสมการที่ 2.7 และภาพที่ 2.11)

$$\text{Minimize } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Dists_{i,j} x_{i,j} \quad (2.7)$$

คุณลักษณะโดยทั่วไปของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem) ดังแสดงในภาพที่ 2.11 เป็นการให้บริการในลักษณะของรถรอบเมือง (จังหวัดเชียงรายให้บริการในชื่อรถรอบเวียง) ที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการให้บริการเป็นจุดเดียวกันที่สถานี ซึ่งได้มีความพยายามพัฒนาวิธีการหาคำตอบรวมถึงการเพิ่มจำนวนโหนด โดยลาพอท (Laporte, n.d.) ได้สรุปการพัฒนาแบบจำลองการจัดเส้นทางยานพาหนะในรอบ 50 ปี (Fifty years of vehicle routing) (เฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้อง) ดังนี้ ไครสโตฟลี มิงโกซซี และทอช (Christofides, Mingozzi & Toth, 1981) ใช้วิธีการแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and bound) ในการหาค่า K-shortest spanning trees, q-paths โดยมีจำนวนโหนดเท่ากับ ( $10 \leq n \leq 25$ ) ต่อมาในปี 1985 ลาพอท โนเบิร์ต และเดโซเชอริส (Laporte, Nobert & Desrochers, 1985) ใช้วิธีการแตกกิ่งและเพิ่มระนาบตัด (Branch and cut) ในการหาค่าโดยกำหนดจำนวนโหนด ( $n \leq 60$ ) ในปี 1995 ราฟ (Ralphs, 1995) ได้พัฒนาเว็บไซต์ (Website) และโปรแกรมซิมโฟนี (Symphony) เพื่อหาค่าโดยใช้หลักการพื้นฐานของวิธีการแตกกิ่งและเพิ่มระนาบตัด ใช้จำนวนโหนดในการทดสอบเท่ากับ ( $n \leq 101$ ) ต่อมา คารา และเบคทาส (Kara & Bektas, 2005) ได้อธิบายถึงความพยายามที่จะลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งโดยเลือกรับสินค้าที่มีน้ำหนักน้อยก่อนเพื่อลดการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และค่อย ๆ ไปรับน้ำหนักมาก ๆ นอกเหนือจากการพิจารณาด้านน้ำหนักบรรทุก ต่อมา คารา อิมแดท, คารา บาฮาร วาย และเยทิส

เอ็ม คาคี (Kara, I., Kara, B. & Yetis, 2007) ได้นำเสนอแบบจำลองเพื่อลดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ที่ขึ้นอยู่กับระยะทางและน้ำหนักบรรทุกของยานพาหนะ ร่วมกับข้อจำกัดด้านของน้ำหนักบรรทุกของยานพาหนะ โดยแบบจำลองพัฒนาขึ้นประมวลผลด้วยโปรแกรม CPLEX version 8.0

## 2.7 การจัดตารางการเดินทางโดยสารสาธารณะ

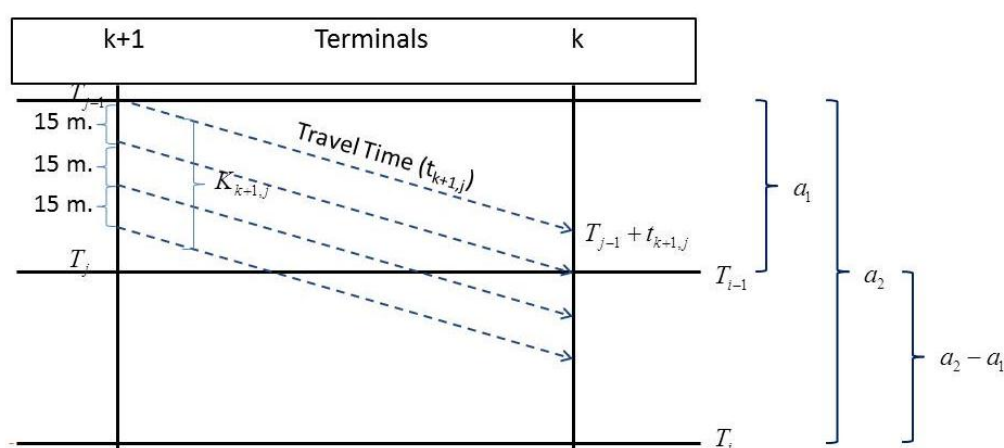
วัตถุประสงค์หลักของการกำหนดเวลาเดินรถแต่ละคันนั้น ต้องการการจัดการเดินรถให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยอาศัยข้อมูลของตารางและระยะเวลาเดินรถในแต่ละเส้นทาง (Travel time) ระยะห่างระหว่างเส้นทาง (Dead heading trips) ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีเป้าหมายให้รถแต่ละคันสามารถวิ่งบนเส้นทาง จากจุดเริ่มต้นถึงสถานีปลายทางได้ตรงตามตารางเดินรถ (Timetable) ที่กำหนดไว้ โดยใช้จำนวนรถน้อยที่สุด ซึ่งอาจมีการหมุนเวียนรถระหว่างเส้นทางในช่วงโมงเร่งด่วน (Peak hours) หรือการปรับเปลี่ยนความถี่ โดยการปรับเปลี่ยนความถี่ สามารถทำได้หลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นการปรับเปลี่ยนความถี่การให้บริการภายในเส้นทางเดียวกัน หรือการปรับเปลี่ยนความถี่ของรถให้มีความสัมพันธ์กัน มีรายละเอียดดังนี้

**2.7.1 การปรับเปลี่ยนความถี่ในการให้บริการ (Frequency changes)** เป็นการเพิ่ม/ลดความถี่ หรือจำนวนเที่ยวในการให้บริการในแต่ละชั่วโมง ซึ่งปรับเปลี่ยนระยะเวลาห่างของรถแต่ละคันเพื่อให้ระยะเวลารอคอยของรถของผู้โดยสารสั้นลง และเพื่อให้มีการหมุนเวียนรถระหว่างสถานี เป็นการลดการใช้จำนวนรถที่ให้บริการลง ส่วนใหญ่จะใช้ในช่วงโมงเร่งด่วน

**2.7.2 การปรับความถี่ของรถให้มีความสัมพันธ์กัน (Combine service frequencies)** เป็นการผสมผสานตารางเวลาของรถโดยสารต่างสายทางหรือต่างชนิดกันโดยพิจารณาถึงความต้องการในการเดินทาง กลุ่มของผู้โดยสารที่สนใจ โดยอาจมีการปรับเปลี่ยนเวลาในการเข้าถึง หรือออกจากป้ายหยุดรับส่งให้ผู้โดยสารมีความสะดวก และลดเวลาในการรอคอยที่เชื่อมต่อกับระบบขนส่งอื่น ๆ

งานวิจัยนี้ให้ความสนใจกับการกำหนดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ โดยใช้จำนวนรถน้อยที่สุด จึงทำการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการปรับเปลี่ยนความถี่ เนื่องมาจากความถี่ที่กำหนดให้บริการในแต่ละเส้นทางนั้น มีผลกระทบโดยตรงต่อจำนวนรถโดยสารสาธารณะที่จำเป็นต้องใช้เพื่อให้บริการ จากการศึกษาพบว่ามีการศึกษาในเรื่องของการปรับเปลี่ยนความถี่ ดังต่อไปนี้ ลินเกอร์รี, แชทเทจ และซินฮา (Lingaraj, Chatterjee & Sinha, 1976) ใช้โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming, LP) ในการวิเคราะห์หาความถี่ในการให้บริการที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการเดินรถประจำ

ทางต่ำที่สุด (Minimal total operating cost) ชู (Zhu, 1991) และชู และเดริค (Zhu & Dirk, 1995) ได้นำเสนอสมการทางคณิตศาสตร์ ในการกำหนดจำนวนเที่ยวการเดินรถ เพื่อให้มีคุณภาพในการให้บริการ และใช้ต้นทุนในการเดินรถน้อยที่สุด โดยชูได้ใช้วิธีการกำหนดให้ค่าความถี่ในการปล่อยรถที่ให้บริการในแต่ละชั่วโมงมีระยะห่างเท่ากัน โดยค่าความถี่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.1) จากตัวอย่างในภาพที่ 2.12 กำหนดให้ระยะห่างการเดินรถ 15 นาทีต่อคัน  $f = \frac{60}{15}$  ซึ่งค่าความถี่ที่ได้เท่ากับ 4 เที่ยว/ชั่วโมง



จาก Zhu, W. (1991). **Bus scheduling management in Bangkok**. Doctor of Technical Science Dissertation. No.IE-91-1, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

ภาพที่ 2.12 วิธีการคำนวณจำนวนรถที่เข้ามาในสถานี k ในช่วงเวลา  $T_{i-1}$

กำหนดให้

- $K_{k+1,j}$  เป็นค่าความถี่ในการให้บริการออกจากสถานี k+1
- $A_{k,i,j}$  จำนวนรถให้บริการที่เข้ามาถึงสถานี k ภายในชั่วโมง i
- $t_{k+1,j}$  เวลาให้บริการ
- $T_{i-1}$  ตำแหน่งของเวลาที่ต้องการตรวจสอบจำนวนรถที่เข้าสถานีภายในเวลา  $a_1$
- $T_i$  ตำแหน่งของเวลาที่ต้องการตรวจสอบจำนวนรถที่เข้าสถานีภายในเวลา  $a_2$
- $T_{j-1}$  ตำแหน่งของเวลาเริ่มต้นให้บริการ
- $T_j$  ตำแหน่งของเวลาที่ถัดจากเวลาเริ่มต้นให้บริการ 1 ช่วงเวลา

$k, k+1$  คำนวณหาจำนวนรถที่ให้บริการ

เมื่อกำหนดให้  $A_{k,i,j}$  เป็นจำนวนรถที่มาถึงสถานี  $k$  ในช่วงชั่วโมง  $i$  ที่ออกจากสถานี  $j$  ในช่วงเวลา  $a_1$  ถึง  $a_2$  สามารถหาค่าได้จาก จำนวนรถที่เข้ามาภายในชั่วโมงที่ 2 ( $a_2$ ) ลบด้วยจำนวนรถที่เข้ามาภายในชั่วโมงที่ 1 ( $a_1$ ) โดยจำนวนรถที่เข้ามาในสถานีต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 (ดังแสดงในสมการที่ 2.8 และภาพที่ 2.12)

$$A_{k,i,j} = \max\{0, (a_2 - a_1)\} \quad (2.8)$$

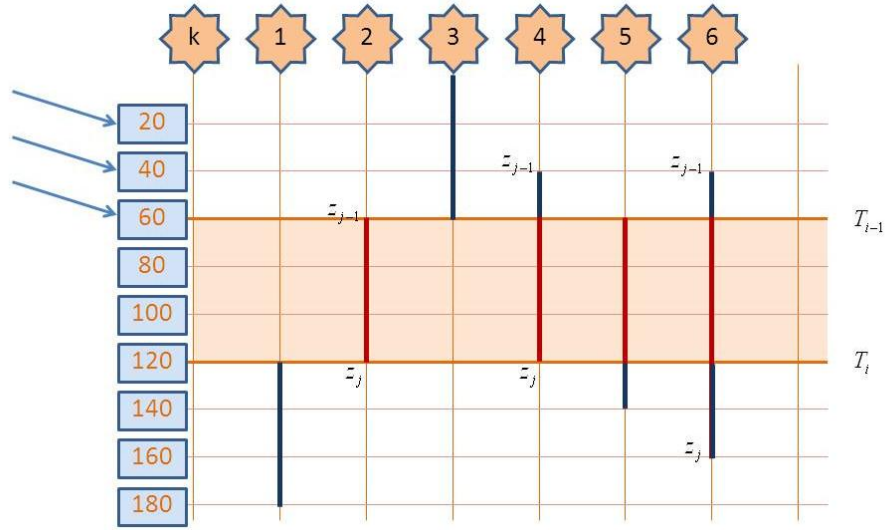
โดยตัวแปร  $a_1$  เป็นตัวแปรที่ใช้คำนวณหาจำนวนรถที่เข้ามาสถานี  $k$  ภายในเวลา  $a_1$  (นับจากเวลาเริ่มต้นถึงเวลา  $a_1$ ) โดยกำหนดให้จำนวนรถที่เข้า  $a_1$  จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 ( $0 \leq a_1$ ) (ดังแสดงในสมการที่ 2.9) และเนื่องจากไม่ได้กำหนดค่าสูงสุดของ  $a_1$  ทำให้ค่าของ  $a_1$  อาจมีค่ามากกว่าความถี่ในการให้บริการ  $K_{k+1,j}$  ในช่วงชั่วโมงนั้นได้ จึงจำเป็นต้องมีการปรับค่าโดยหาค่าสูงสุดอีกครั้ง (ดังแสดงในสมการที่ 2.8) เพื่อป้องกันค่าจำนวนรถที่เข้าสถานีเป็นลบ หรือกรณีที่ค่า ( $a_2 \leq a_1$ )

$$a_1 = \max\left\{0, \left\lfloor \frac{T_{i-1} - (T_{j-1} + t_{k+1,j})}{T_j - T_{j-1}} K_{k+1,j} \right\rfloor\right\} \quad (2.9)$$

ตัวแปร  $a_2$  เป็นตัวแปรที่ใช้คำนวณหาจำนวนรถที่เข้ามาสถานี  $k$  ภายในเวลา  $a_2$  (นับจากเวลาเริ่มต้นถึงเวลา  $a_2$ ) โดยจำนวนรถที่เข้าในสถานีต้องมีค่าไม่เกินค่าความถี่ในการให้บริการ  $K_{k+1,j}$  หรือ ( $a_2 \leq K_{k+1,j}$ ) (ดังแสดงในสมการที่ 2.10) และเนื่องจากไม่ได้กำหนดค่าต่ำสุดของ  $a_2$  ทำให้ค่าของ  $a_2$  อาจมีค่าน้อยกว่า 0 จึงต้องมีการปรับค่าโดยหาค่าสูงสุดอีกครั้ง ดังแสดงในสมการที่ (2.8) เพื่อป้องกันค่าจำนวนรถที่เข้าสถานีเป็นลบหรือกรณีที่ค่า ( $a_2 \leq a_1$ )

$$a_2 = \min\left\{K_{k+1,j}, \left\lfloor \frac{T_i - (T_{j-1} + t_{k+1,j})}{T_j - T_{j-1}} K_{k+1,j} \right\rfloor\right\} \quad (2.10)$$

ด้านขวาของภาพที่ 2.12 ส่วนของสถานี  $k$  สามารถอธิบายวิธีการตรวจสอบจำนวนรถที่เข้ามาในสถานีได้ 6 กรณี (ดังแสดงตัวเลขในสัญลักษณ์ ☆) โดยมีรายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 การคำนวณจำนวนรถที่เข้ามาในสถานี  $k$  (กรณีที่เป็นไปได้ 6 กรณี)

กำหนดให้

$$z_j = T_j + t_{k+1,j} \quad (2.11)$$

$$z_{j-1} = T_{j-1} + t_{k+1,j} \quad (2.12)$$

$$x_j = K_{k+1,j} \quad (2.13)$$

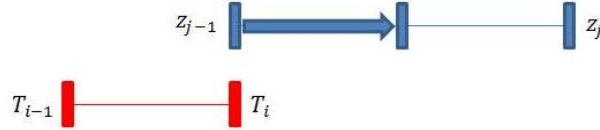
แทนค่า  $z_j$ ,  $z_{j-1}$  และ  $x_j$  (ดังแสดงในสมการที่ 2.11 – 2.13) ในสมการที่ (2.8) – (2.10) (ดังแสดงในสมการที่ (2.14) – (2.16))

$$A_{ki} = \max\{0, (a_2 - a_1)\} \quad (2.14)$$

$$a_1 = \max\left\{0, \left\lceil \frac{T_{i-1} - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rceil \right\} \quad (2.15)$$

$$a_2 = \min\left\{x_j, \left\lfloor \frac{T_i - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor \right\} \quad (2.16)$$

กรณีที่ 1 ช่วงเวลาที่ตรวจสอบไม่มีรถให้บริการ (มีรถให้บริการหลังเวลาที่ตรวจสอบ)  $[T_i \leq z_{j-1}]$ ;



ภาพที่ 2.14 กรณีที่ 1 ช่วงเวลาที่ตรวจสอบไม่มีรถให้บริการ (มีรถให้บริการหลังเวลาที่ตรวจสอบ)  
ดัดแปลงจาก ชู (Zhu, 1991)

จากภาพที่ 2.13 และภาพที่ 2.14-2.19 สามารถอธิบายข้อมูลเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

$T_{i-1} - T_i$  เป็นช่วงเวลาที่ต้องการตรวจสอบจำนวนรถโดยสารที่เข้ามาในสถานี

ภายในเวลาที่กำหนด  $T_{i-1} - T_i$  โดยกำหนดให้ค่า  $T_{i-1} \leq T_i$ ;

$z_{i-1} - z_i$  เป็นช่วงเวลาที่มียรถโดยสารสาธารณะในการให้บริการ โดยกำหนดให้ค่า  $z_{i-1} \leq z_i$ ;

$a_1 = 0$  เนื่องจาก  $T_{i-1} \leq z_{j-1}$  จะได้  $T_{i-1} - z_{j-1} \leq 0$ ;

จากสมการดังต่อไปนี้  $\max\left\{0, \left\lceil \frac{T_{i-1} - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rceil\right\}$  คือ ค่าสูงสุดของ 0 กับ ค่าที่น้อยกว่า 0 ดังนั้น คำตอบคือ  $a_1 = 0$ ;

$a_2 \leq 0$  เนื่องจาก  $T_i \leq z_{j-1}$  จะได้  $T_i - z_{j-1} \leq 0$ ;

ดังนั้น  $\min\left\{x_j, \left\lfloor \frac{T_i - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor\right\}$

ค่าต่ำสุดของความถี่ที่ให้บริการในทิศทาง  $j$  หรือ  $x_j$  กับ ค่าที่น้อยกว่า 0

จะได้  $a_2 \leq 0$ ;

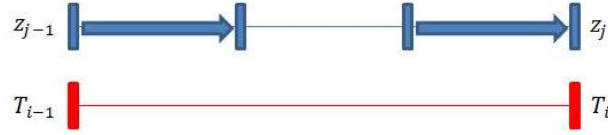
จำนวนรถที่มาถึงสถานี  $k$  ในช่วงเวลา  $i$  หรือ

$$A_{ki} = \max\{0, (a_2 - a_1)\}$$

= จากสมการ  $\max\{0, (0 - 0)\}$  ค่าสูงสุดของ 0 กับค่าที่น้อยกว่า 0 จะได้คำตอบ

$$A_{ki} = 0;$$

กรณีที่ 2 มีรถให้บริการในช่วงเวลาที่ตรวจสอบ  $[T_{i-1} \leq z_{j-1} \leq T_i]$  และ  $[z_j \leq T_i]$ ;



ภาพที่ 2.15 กรณีที่ 2 ช่วงเวลาที่ตรวจสอบมีรถให้บริการเท่ากับความถี่ ( $x_j$ ) ที่ให้บริการ  
ดัดแปลงจาก ชู (Zhu, 1991)

$a_1 = 0$ ; (ดังแสดงในกรณีที่ 1)

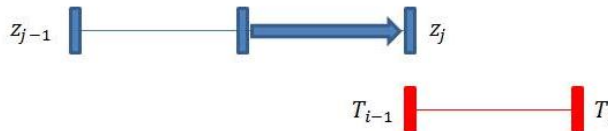
$a_2 = x_j$ ; จากอสมการ  $T_i \geq z_j$ ; ดังนั้น  $T_i - z_{j-1} \geq z_j - z_{j-1}$ ;

$$= \min \left\{ x_j, \left\lfloor \frac{T_i - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor \right\} = x_j$$

จำนวนรถที่มาถึงสถานี  $k$  ในช่วงเวลา  $i$  หรือ  $A_{ki} = \max\{0, (a_2 - a_1)\}$

$$A_{ki} = \max\{0, (x_j - 0)\} = x_j$$

กรณีที่ 3 ช่วงเวลาที่ตรวจสอบไม่มีรถให้บริการ (มีรถให้บริการก่อนเวลาที่ตรวจสอบ)  $[z_j \leq T_{i-1}]$ ;



ภาพที่ 2.16 กรณีที่ 3 ช่วงเวลาที่ตรวจสอบไม่มีรถให้บริการ (มีรถให้บริการก่อนเวลาที่ตรวจสอบ)  
ดัดแปลงจาก ชู (Zhu, 1991)

$a_1 \geq x_j$ ; เนื่องจาก

$T_{i-1} \geq z_j$ ; จะได้

$$T_{i-1} - z_{j-1} \geq z_j - z_{j-1};$$

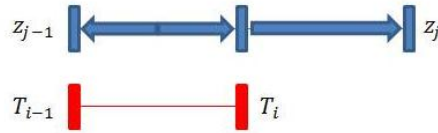
ดังนั้น  $a_1 = \max \left\{ 0, \left\lfloor \frac{T_{i-1} - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor \right\}$  จะมีค่า  $a_1 \geq x_j$ ;

$a_2 = x_j$ ; (ดังแสดงในกรณีที่ 2)

จำนวนรถที่มาถึงสถานี  $k$  ในช่วงเวลา  $i$  หรือ  $A_{ki} = \max\{0, (x_j - x_j)\} = 0$ ;

**กรณีที่ 4** มีรถที่ให้บริการในช่วงเวลาและหลังเวลาที่ตรวจสอบ

$$[T_{i-1} \leq z_{j-1} \leq T_i] \text{ และ } [z_j \geq T_i];$$



**ภาพที่ 2.17** กรณีที่ 4 ช่วงเวลาที่ตรวจสอบมีรถให้บริการเท่ากับ  $\left\lfloor \frac{T_i - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor$

คัดแปลงจาก ชู (Zhu, 1991)

$a_1 = 0$ ; (ดังแสดงในกรณีที่ 1)

$$a_2 = \left\lfloor \frac{T_i - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor;$$

เนื่องจาก  $T_i \leq z_j$ ; จะได้  $T_i - z_{j-1} \leq z_j - z_{j-1}$ ;

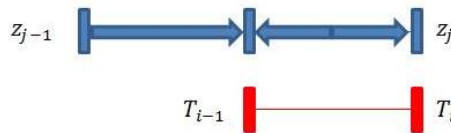
ดังนั้น สมการ  $a_2 = \min \left\{ x_j, \left\lfloor \frac{T_i - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor \right\}$  จะได้  $a_2 = \left\lfloor \frac{T_i - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor$

จำนวนรถที่มาถึงสถานี  $k$  ในช่วงเวลา  $i$  หรือ

$$A_{ki} = \max \left\{ 0, \left( \left\lfloor \frac{T_i - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor - 0 \right) \right\} = \left\lfloor \frac{T_i - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor$$

**กรณีที่ 5** มีรถให้บริการในช่วงก่อนเวลาที่ตรวจสอบและมีรถให้บริการในช่วงเวลาที่ตรวจสอบ

$$[z_{j-1} \leq T_{i-1}] \text{ และ } [T_{i-1} \leq z_j \leq T_i];$$



**ภาพที่ 2.18** กรณีที่ 5 ช่วงเวลาที่ตรวจสอบมีรถให้บริการเท่ากับ  $\left\lfloor \frac{z_j - T_{i-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor$

คัดแปลงจาก ชู (Zhu, 1991)

$$a_1 = \left\lfloor \frac{T_{i-1} - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor \leq x_j;$$

เนื่องจาก  $T_{i-1} \leq z_j$  จะได้

$$T_{i-1} - z_{j-1} \leq z_j - z_{j-1}$$

$$a_1 = \max \left\{ 0, \left\lfloor \frac{T_{i-1} - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor \right\}$$

$$a_1 = \left\lfloor \frac{T_{i-1} - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor$$

$$a_2 = x_j; \text{ (ดังแสดงในกรณีที่ 2)}$$

จำนวนรถที่มาถึงสถานี  $k$  ในช่วงเวลา  $i$  หรือ

$$A_{ki} = \max \left\{ 0, \left( x_j - \left\lfloor \frac{T_{i-1} - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor \right) \right\} = \left\lfloor \frac{z_j - T_{i-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor$$

**กรณีที่ 6** มีรถให้บริการให้บริการในช่วงก่อนและหลังเวลาให้บริการ  $[z_{j-1} \leq T_{i-1}]$  และ  $[T_i \leq z_j]$ ;



**ภาพที่ 2.19** กรณีที่ 6 ช่วงเวลาที่ตรวจสอบมีรถให้บริการเท่ากับ  $\left\lfloor \frac{T_i - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor - \left\lfloor \frac{T_{i-1} - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor$   
คัดแปลงจาก ชู (Zhu, 1991)

$$a_1 = \left\lfloor \frac{T_{i-1} - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor; \text{ (ดังแสดงในกรณีที่ 5)}$$

$$a_2 = \left\lfloor \frac{T_i - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor; \text{ (ดังแสดงในกรณีที่ 4)}$$

จำนวนรถที่มาถึงสถานี  $k$  ในช่วงเวลา  $i$  หรือ  $A_{ki} = \max\{0, (a_2 - a_1)\}$

$$A_{ki} = \max \left\{ 0, \left( \left\lfloor \frac{T_i - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor - \left\lfloor \frac{T_{i-1} - z_{j-1}}{z_j - z_{j-1}} x_j \right\rfloor \right) \right\}$$

จากสมการของ ชู (Zhu, 1991) ผู้วิจัยให้ความสนใจกับการสร้างสมการที่ใช้การหมุนเวียนรถภายในเส้นทาง ต่อมาในปี พ.ศ. 2548 กาญจน์กรอง ปิยะไพร และวิโรจน์ ศรีสุรภานนท์ ได้นำหลักการแก้ปัญหาเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming, IP) ในการกำหนดจำนวนเที่ยวในการเดินรถในแต่ละช่วงเวลา เพื่อปรับปรุงคุณภาพการให้บริการเดินรถโดยสารประจำทาง และหาผลตอบแทนจากการให้บริการสูงสุด โดยใช้วิธีการกำหนดความถี่ในการเดินรถให้มีความสัมพันธ์กับความต้องการเดินรถของผู้โดยสาร ในครั้งนั้นมีข้อสมมติฐานเบื้องต้น คือ จำนวนรถโดยสารที่มีอยู่ในแต่ละเส้นทางมี

จำนวนคงที่และไม่มีกรหมุนเวียนระหว่างเส้นทาง โดยกาญจน์กรอง ปิยะไพร และวิโรจน์ ศรีสุรภา  
นนท์ (2548) ได้ให้ความสำคัญกับการปรับความถี่ เพื่อลดจำนวนรถที่ต้องใช้เพื่อให้บริการซึ่งเป็น  
ต้นทุนหลักอันเป็นผลให้มีผลตอบแทนสูงขึ้น โดยมีรูปแบบของสมการที่ใช้ในการศึกษาคือ

$$\text{Maximize } z = \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^n (R_{i,j} F_a - O_{i,j} f_{i,j}) - (a + b N_B) \quad (2.17)$$

โดยมีรายละเอียดข้อจำกัด (Subject to) ดังแสดงในสมการที่ 2.18 -2.23

ข้อจำกัดความถี่การให้บริการ (Frequency Required)

$$f_{i,j} \geq N_{i,j} \quad (2.18)$$

ข้อจำกัดการให้บริการ (Feet Size Required)

$$N_B \geq \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^n DB_{i,j} \quad (2.19)$$

$$DB_{i,j} = f_{i,j} - (SB_{i-1,j} + ABB_{i,j} + ABA_{i,j}) \quad (2.20)$$

$$SB_{i,j} = DB_{i,j} + ABB_{i,j} + ABA_{i,j} + SB_{i-1,j} - f_{i,j} \quad (2.21)$$

$$SB_{0,j}, ABA_{1,j}, ABA_{2,j}, ABB_{1,j} = 0 \quad (2.22)$$

$$f_{i,j}, N_B, DB_{i,j}, SB_{i,j}, ABA_{i,j}, ABB_{i,j} \in I^+ \quad (2.23)$$

กำหนดให้

|            |                                                                                       |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $R_{i,j}$  | จำนวนผู้โดยสารที่ต้องการขึ้นรถในชั่วโมงที่ $i$ ทิศทาง $j$                             |
| $F_a$      | ค่าโดยสารเฉลี่ย (บาท/คน/เที่ยว)                                                       |
| $O_{i,j}$  | ต้นทุนในการเดินรถในชั่วโมงที่ $i$ ทิศทาง $j$ (บาท/คน/เที่ยว/ทิศทาง)                   |
| $N_{i,j}$  | ความถี่เชิงนโยบายที่กำหนดให้บริการขั้นต่ำ                                             |
| $f_{i,j}$  | จำนวนเที่ยวรถที่กำหนดให้ออกจากสถานีในทิศทาง $j$ ในชั่วโมงที่ $i$                      |
| $a$        | ค่าใช้จ่ายภายในสำนักงาน (บาท/วัน)                                                     |
| $b$        | ค่าใช้จ่ายในการจัดหารถ ค่าเสื่อมราคา ดอกเบี้ย และค่าจ้างพนักงานขับรถ<br>(บาท/คัน/วัน) |
| $N_B$      | จำนวนรถที่จำเป็นต้องใช้เพื่อให้บริการเดินรถ                                           |
| $DB_{i,j}$ | จำนวนรถที่เสริมจากอยู่เข้าสถานีต้นทางของการเดินทางในชั่วโมงที่ $i$ ทิศทาง $j$         |
| $SB_{i,j}$ | จำนวนรถที่คงค้างไว้ที่สถานีต้นทางของการเดินรถในชั่วโมงที่ $i$ ทิศทาง $j$              |

$ABA_{i,j}$  จำนวนรถที่ออกจากสถานีต้นทางของการเดินรถในชั่วโมงที่  $i - 2$  ทิศทาง  $j - 1$  และเข้าถึงสถานีต้นทางของการเดินรถในชั่วโมงที่  $i$  ทิศทาง  $j$   
 $ABB_{i,j}$  จำนวนรถที่เข้าถึงสถานีต้นทางของการเดินรถในชั่วโมงที่  $i$  ทิศทาง  $j$   
 $I^+$  เลขจำนวนเต็มที่มีค่าเป็นบวก

สมการที่ 2.17 เป็นสมการวัตถุประสงค์ที่ต้องการทำให้ได้กำไรจากการกำหนดเที่ยวการเดินรถมากที่สุด โดยคิดจากรายได้ที่เกิดจากจำนวนผู้โดยสาร ( $R_{i,j}$ ) คูณด้วยค่าโดยสารต่อคน ( $F_d$ ) หักลบด้วยต้นทุนในการเดินรถต่อเที่ยว ( $O_{i,j}$ ) คูณด้วยจำนวนเที่ยวที่ถูกกำหนดในแต่ละชั่วโมง ( $f_{i,j}$ ) และหักลบด้วยต้นทุนค่าใช้จ่ายในสำนักงานเฉลี่ยต่อวัน ( $a$ ) รวมกับต้นทุนในการจัดหารถเฉลี่ยต่อคันต่อวัน ( $b$ ) คูณด้วยจำนวนรถที่ต้องการใช้ ( $N_B$ )

สมการที่ 2.18 เป็นสมการข้อจำกัด ที่ต้องการให้ความถี่ที่กำหนดมีค่ามากกว่าความถี่ที่ต้องการเชิงนโยบายขั้นต่ำ (Feet size required)

สมการที่ 2.19 เป็นสมการที่ต้องการลดจำนวนรถที่ใช้บริการต่อวัน โดยกำหนดให้ในกรณีการทำซ้ำในรอบต่อไปจำนวนรถที่ใช้ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนรถที่ใช้ก่อนหน้านี้ เพื่อเป็นการลดจำนวนรถที่ต้องใช้ และลดค่าใช้จ่ายที่จะตามมาในอนาคต

สมการที่ 2.20 จำนวนรถที่เสริมจากอยู่เข้าสถานีต้นทางของการเดินทางในชั่วโมงที่  $i$  ทิศทาง  $j$  สามารถหาค่าได้จาก จำนวนเที่ยวรถที่กำหนดให้ออกจากสถานีในทิศทาง  $j$  ในชั่วโมงที่  $i$  ลบด้วย (จำนวนรถที่คงค้างไว้ที่สถานีต้นทางของการเดินรถในชั่วโมงที่  $i - 1$  ทิศทาง  $j$  บวกด้วย จำนวนรถที่ออกจากสถานีต้นทางของการเดินรถในชั่วโมงที่  $i - 2$  ทิศทาง  $j - 1$  และเข้าถึงสถานีต้นทางของการเดินรถในชั่วโมงที่  $i$  ทิศทาง  $j$  บวกด้วย จำนวนรถที่เข้าถึงสถานีต้นทางของการเดินรถในชั่วโมงที่  $i$  ทิศทาง  $j$ )

สมการที่ 2.21 จำนวนรถที่คงค้างไว้ที่สถานีต้นทางของการเดินรถในชั่วโมงที่  $i$  ทิศทาง  $j$  สามารถหาค่าได้จาก จำนวนรถที่เสริมจากอยู่เข้าสถานีต้นทางของการเดินทางในชั่วโมงที่  $i$  ทิศทาง  $j$  บวกด้วย (จำนวนรถที่คงค้างไว้ที่สถานีต้นทางของการเดินรถในชั่วโมงที่  $i - 1$  ทิศทาง  $j$  บวกด้วย จำนวนรถที่ออกจากสถานีต้นทางของการเดินรถในชั่วโมงที่  $i - 2$  ทิศทาง  $j - 1$  และเข้าถึงสถานีต้นทางของการเดินรถในชั่วโมงที่  $i$  ทิศทาง  $j$  บวกด้วย จำนวนรถที่เข้าถึงสถานีต้นทางของการเดินรถในชั่วโมงที่  $i$  ทิศทาง  $j$ ) ลบ จำนวนเที่ยวรถที่กำหนดให้ออกจากสถานีในทิศทาง  $j$  ในชั่วโมงที่  $i$

สมการที่ 2.22 กำหนดให้ค่าเริ่มต้นของกระบวนการทำซ้ำมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0

สมการที่ 2.23 กำหนดให้ตัวแปรที่ต้องการทราบค่าต่าง ๆ มีค่าเป็นบวก

จากสมการที่ 2.17 – 2.23 ของกาญจน์กรรณ ปิยะไพร (2547) สามารถอธิบายแบบจำลอง การจัดการรายไดรโดยสาธารณะได้สองส่วน คือ (1) ส่วนของผลตอบแทนซึ่งแสดงในส่วน ของสมการวัตถุประสงค์ (ดังแสดงในสมการที่ 2.17) (2) ส่วนของการจัดการรายไดรโดยสาธารณะ ซึ่งมีข้อจำกัดการหมุนเวียนราย (ดังแสดงในสมการที่ 2.18 – 2.23) ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ ปรับปรุงรูปแบบการคำนวณให้สามารถคำนวณจำนวนรายที่เข้ามาที่สถานีในแต่ละชั่วโมง และให้ คำนวณรายให้บริการแบบมีการหมุนเวียนระหว่างเส้นทาง ดังแสดงรายละเอียดในบทที่ 3 ต่อไป

## 2.8 การกำหนดจำนวนเต็ม วิธีการแก้ปัญหา และการประมวลผลแบบจำลอง

แบบจำลองการจัดเส้นทางและการจัดการรายไดรโดยสาธารณะที่พัฒนาขึ้น ใช้ กระบวนการกำหนดจำนวนเต็ม ในการแก้ปัญหาเนื่องจาก ตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจเลือก เส้นทาง  $(x_{i,j,r})$  หรือตัวแปรที่ใช้กำหนดความถี่ในการให้บริการ  $(FS_{i,j,p})$  รวมถึงตัวแปรจำนวนราย ที่ให้บริการจากสถานี  $(Depot_{i,j,p})$  และอื่น ๆ ต้องการคำตอบที่เป็นจำนวนเต็ม ซึ่งการกำหนด จำนวนเต็ม (Integer Programming) (บุญสม สิริโสภณา, 2553) เป็นปัญหาหนึ่งในปัญหาสมการ เชิงเส้นที่เพิ่มข้อจำกัดตัวแปรซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจะต้องอยู่ในรูปของจำนวนเต็ม โดยการหาค่าสูงสุด หรือค่าต่ำสุดของเป้าหมายที่ตั้งไว้ ภายใต้สภาวะการณ์หรือเงื่อนไขบางประการ การกำหนดจำนวน เต็มจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักดังต่อไปนี้

ส่วนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) เป็นฟังก์ชันที่ใช้เพื่อหาค่าสูงสุด หรือค่าต่ำสุด (Maximization or Minimization) เพียงวัตถุประสงค์เดียว ในกรณีที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากกว่าหนึ่ง เป้าหมายต้องเลือกฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลักที่สำคัญที่สุดเขียนเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์โดยมี ความสัมพันธ์ของตัวแปรอยู่ในรูปของสมการเส้นตรง ส่วนฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่น ๆ ต้องดัดแปลง เป็นเงื่อนไขบังคับ ดังแสดงในสมการที่ (2.24)

$$\text{Minimize or Maximize } C^T x \quad (2.24)$$

ส่วนเงื่อนไขบังคับ (Constraints) คือสมการหรืออสมการที่แสดงถึงข้อจำกัดของ ทรัพยากร ความต้องการ หรือเงื่อนไขต่าง ๆ ของปัญหา โดยมีความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ในเงื่อนไข บังคับเป็นเส้นตรง ดังแสดงในสมการที่ (2.25) สำหรับเครื่องหมาย  $(\leq, =, \geq)$  ที่ระบุขอบเขตของ ข้อจำกัด ให้เลือกใช้เพียงอันใดอันหนึ่งเท่านั้น

$$\text{Subject to } Ax(\leq, =, \geq)b, x \geq 0; \quad (2.25)$$

ส่วนตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) เป็นส่วนที่แสดงถึงคำตอบของแบบจำลองที่ประกอบด้วยตัวแปรใดบ้าง และตัวแปรนั้นต้องเป็นจำนวนเต็ม และมีค่าไม่ติดลบ (non negative value) โดยที่  $c$ ,  $A$  และ  $b$  (ดังแสดงในสมการที่ 2.24 และ 2.25) เป็นค่าคงที่ (Parameters) ที่ได้จากปัญหาที่กำหนดขึ้น และ  $x$  เป็นตัวแปร (Decision variable) ที่ต้องการหาคำตอบ

วิธีการแก้ปัญหาการกำหนดจำนวนเต็ม ที่นิยมใช้มีอยู่หลายวิธี เช่น วิธีการแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and bound) และวิธีการระนาบตัด (Cutting plane) ซึ่งการแก้ปัญหาการกำหนดจำนวนเต็มทั้ง 2 วิธีนั้น สามารถทำด้วยมือหรือใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ การศึกษาวิจัยครั้งนี้เลือกใช้วิธีการแตกกิ่งและเพิ่มระนาบตัด ซึ่งใช้วิธีการพื้นฐานของวิธีการแตกกิ่งและจำกัดเขตร่วมกับวิธีการระนาบตัด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**วิธีการแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and bound)** (ณกร อินทร์พยุง, 2548) วิธีพื้นฐานในการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบไม่ต่อเนื่อง ที่ตั้งอยู่บนสมมติฐานการสังเกตว่า คำตอบของตัวแปรการตัดสินใจนั้นมีลักษณะเป็นแผนภูมิแบบต้นไม้โดยมีแนวคิดการสร้างค่าของตัวแปรคือการ “หลีกเลี่ยง” การแผ่ขยายของโหนดให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ วิธีการที่สำคัญของวิธีการแตกกิ่งและจำกัดเขต คือการตัดโหนด หรือ เรียกว่า Pruning โดยจะทำการตัดส่วนที่มีผลลัพธ์เป็นเลขเศษส่วนออกไป วิธีการแตกกิ่งและจำกัดเขตจะทำการตัดโหนดออกไปอย่างถาวรเมื่อทราบว่าแขนงโหนดที่กำลังจะแตกออกมาจากโหนดนั้นจะให้คำตอบที่ขัดแย้งกับเงื่อนไข (Infeasible solution) หรือไม่มีความเป็นไปได้ที่จะให้คำตอบที่ดีที่สุด (Optimal solution)

**วิธีการระนาบตัด (Cutting plane method)** พัฒนาค้นโดยราฟ โกลโมรี (Ralph E. Gomory) เป็นระเบียบวิธีที่ใช้ในการกำจัดหรือลดบริเวณที่เป็นไปได้ของข้อจำกัดของปัญหา ที่เรียกว่า ข้อจำกัดของโกลโมรี (Gomory constraint) โดยไม่ทำให้ผลเฉลยจำนวนเต็มเหมาะสมที่สุดเปลี่ยนไป หลักการที่สำคัญคือ การใช้ข้อจำกัดของปัญหาเดิมที่ทำให้ได้ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดที่ไม่ใช่จำนวนเต็มเป็นข้อจำกัดใหม่ โดยเรียกข้อจำกัดใหม่ว่า Gomory's fractional cut

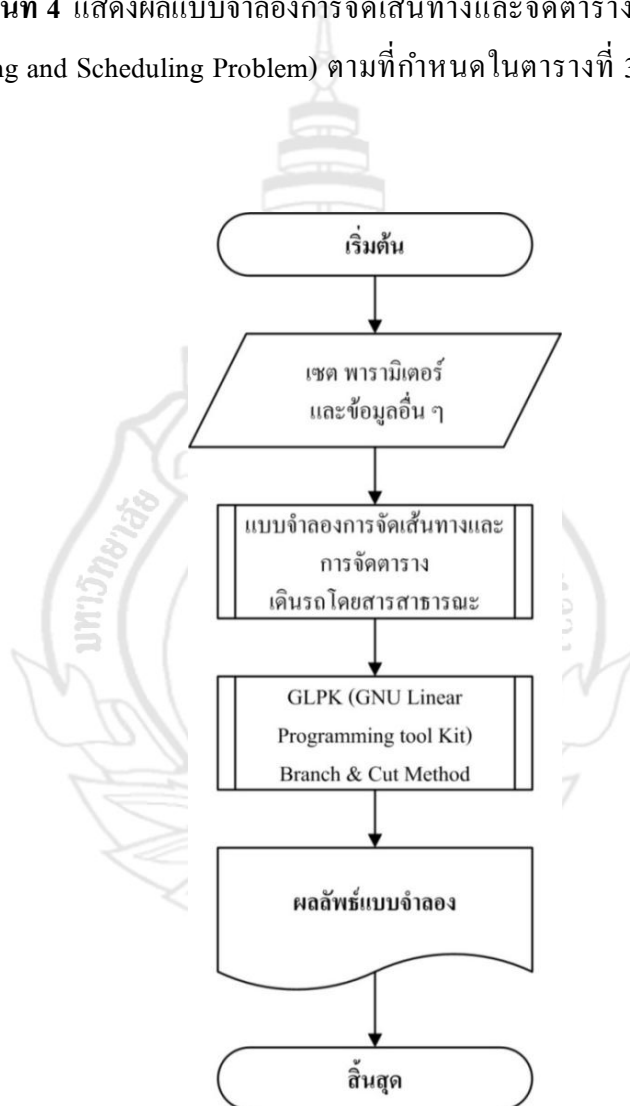
**การประมวลผลแบบจำลอง** สามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองการจัดเส้นทางและการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ เป็น 4 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดดังนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 2.20)

**ขั้นตอนที่ 1** กำหนดข้อมูลนำเข้าที่จำเป็นต้องใช้ในแบบจำลองการจัดเส้นทางและจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ (Vehicle Routing and Scheduling Problem) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.1 3.3 - 3.4 และ 3.8 -3.10 ตามลำดับ

**ขั้นตอนที่ 2** กำหนดแบบจำลองการจัดเส้นทาง และจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ ทั้งฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และข้อจำกัดของแบบจำลอง ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Modeling Language ด้วยใช้ภาษา GMPL (GNU MathProg Language)

**ขั้นตอนที่ 3** การประมวลผลด้วยโปรแกรม GLPK (GNU: Linear Programming tool Kit) ที่ใช้หลักการพื้นฐานของกระบวนการแตกกิ่งและเพิ่มระนาบตัด

**ขั้นตอนที่ 4** แสดงผลแบบจำลองการจัดเส้นทางและจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ (Vehicle Routing and Scheduling Problem) ตามที่กำหนดในตารางที่ 3.5 และ 3.11 ในรูปแผนที่ และตัวอักษร



**ภาพที่ 2.20** การประมวลผลแบบจำลองการจัดเส้นทางและจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ

## บทที่ 3

### ระเบียบและวิธีการศึกษา

ในบทนี้นำเสนอวิธีการการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 2 แบบจำลอง คือ แบบจำลองการจัดเส้นทางและจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ กรณีศึกษาจังหวัดเชียงราย โดยทั้ง 2 แบบจำลองอาศัยแนวความคิดของทฤษฎีกราฟร่วมกับกระบวนการกำหนดจำนวนเต็ม ในการอธิบายและแก้ปัญหา ซึ่งกระบวนการกำหนดจำนวนเต็มประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนดังนี้

1. ส่วนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) เป็นรูปแบบของปัญหาที่ต้องการออกแบบซึ่งสามารถกำหนดรูปแบบของปัญหาได้ 2 รูปแบบ คือปัญหาที่มีค่าสูงสุด และปัญหาที่มีค่าต่ำสุด (ดังแสดงในสมการที่ 2.24)

2. ส่วนเงื่อนไขบังคับ (Constraints) เป็นฟังก์ชันที่แสดงความสัมพันธ์ของทรัพยากร เช่น ข้อจำกัดในเรื่องของเส้นทางและระยะทางในการให้บริการ เป็นต้น (ดังแสดงในสมการที่ 2.25)

โดยสามารถอธิบายวิธีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การจัดเส้นทางและการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ ได้ดังต่อไปนี้

#### 3.1 แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ (Vehicle Routing Problem)

เป็นปัญหาที่สำคัญในด้านการจัดการโลจิสติกส์ หมายถึง การขนส่งวัตถุดิบจากผู้ผลิตไปยังโรงงานที่ผลิตสินค้า หรือการขนส่งไปยังคลังเก็บสินค้า หรือลูกค้า บริษัทต้องการหาวิธีการขนส่งสินค้าและกระจายสินค้าที่มีประสิทธิภาพ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน อาจประกอบไปด้วย การลดระยะทางในการขนส่ง หรือการลดระยะเวลาความล่าช้าในการขนส่งสินค้า หรือการใช้จำนวนยานพาหนะเพื่อให้บริการลดลง เป็นต้น ในกระบวนการศึกษาวิจัยใช้การจัดเส้นทางยานพาหนะเพื่อออกแบบระบบขนส่งสาธารณะ ซึ่งในขั้นตอนการออกแบบโครงข่ายขนส่งสาธารณะ โดยทำการออกแบบ 2 รูปแบบคือ รูปแบบปิดและรูปแบบเปิด (ดังแสดงในภาพที่ 3.1) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



เพื่อให้เหมาะสมกับการออกแบบเส้นทางให้บริการรถโดยสารสาธารณะจึงแก้ไขรูปแบบสมการพื้นฐานของการจัดเส้นทางยานพาหนะ ดังนี้ ในข้อจำกัดที่ (2) คือ ลูกค้าจะต้องได้รับการจากเส้นทางเพียงเส้นทางเดียว เท่านั้น (ดังแสดงในสมการที่ 2.4 และ 2.5) เป็นลูกค้า (ในที่นี้ลูกค้าหมายถึง ป้ายรถเมล์) ที่กำหนดต้องได้รับการไม่น้อยกว่าจำนวนครั้งที่กำหนดในข้อจำกัด และตำแหน่งอื่น ๆ ที่มีป้ายรถเมล์ จะได้รับการหรือไม่ได้รับการก็ได้

### 3.1.1 เซต พารามิเตอร์ ฟังก์ชัน และตัวแปรตัดสินใจ

การศึกษานี้ได้เลือกใช้ทฤษฎีกราฟ (Graph theory) ช่วยในการออกแบบเส้นทางรถโดยสารสาธารณะเพื่อใช้อธิบายองค์ประกอบของถนน ประกอบไปด้วยเซตของโหนดและเซตของเอจหรือลิงค์ ซึ่งเซตของโหนดและเซตของเอจหรือลิงค์จะประกอบกันเป็นโครงข่ายถนนในลักษณะต่าง ๆ เช่น ตาราง วงแหวน หรือรัศมี เป็นต้น

เซตของโหนด (Node or Vertex)  $N = \{0, 1, 2, \dots, n\}$  ประกอบไปด้วยเซตของจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดการให้บริการ (Origin and Destination Depot) รวมถึงตำแหน่งของป้ายรถเมล์ (Bus stop) โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เซตและโหนดในแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ

| เซต (Set) | คำอธิบาย                                                                                                                                                                                                       |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $N$       | จำนวนโหนด (ป้ายรถเมล์ และทางแยก) $N = \{0, 1, 2, \dots, 218\}$ ที่ใช้ออกแบบระบบขนส่งสาธารณะ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้โหนดทั้งสิ้น 218 โหนด                                                                      |
| $ROUTES$  | เซตของเส้นทาง (Route) เป็นเซตที่ระบุถึงข้อจำกัดในการสร้างเส้นทาง $ROUTES = \{0, 1, 2, \dots, route\}$ คือ สามารถสร้างเส้นทางให้บริการรถโดยสารสาธารณะได้ไม่เกินจำนวนเส้นทางที่กำหนด                             |
| $FDepot$  | เซตของจุดเริ่มต้น (First Depot) ในการให้บริการ $FDepot \in \{1..FD\}$ โดยกำหนดให้จุดเริ่มต้นการให้บริการของทุกเส้นทางเริ่มต้นที่สถานีขนส่ง(เดิม) และในกรณีออกแบบเส้นทางใหม่กำหนดให้เริ่มต้นที่สถานีขนส่ง(ใหม่) |

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

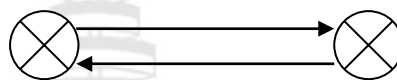
| เซต (Set) | คำอธิบาย                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $LDepot$  | <p>เซตของจุดสิ้นสุด (Last Depot) ในการให้บริการ <math>LDepot \in \{1..LD\}</math> กำหนดให้จุดสิ้นสุดการให้บริการของทุกเส้นทางอยู่บริเวณชานเมืองในแนวทิศเหนือและทิศใต้ของจังหวัดเชียงราย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ปรับปรุงเส้นทางให้บริการในปัจจุบัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและลดพื้นที่การให้บริการที่ทับเส้นทาง โดยกำหนดให้ผ่านแหล่งดึงดูดการเดินทางเหมือนกับที่ให้บริการในปัจจุบันจำนวน 2 เส้นทาง คือ ทิศเหนือ สิ้นสุดที่ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และทิศใต้ สิ้นสุดที่ บ้านสันทราย</li> <li>ออกแบบเส้นทางรถโดยสารสาธารณะเพิ่มเติมเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ โดยมีจุดสิ้นสุดการให้บริการที่ท่าอากาศยานจังหวัดเชียงราย</li> </ul> |
| $BusStop$ | <p>ตำแหน่งของป้ายรถประจำทางทั้งหมด และตำแหน่งของจุดเปลี่ยนถ่ายผู้โดยสาร <math>BusStop = \{0,1,2,..bs\}</math> (ดังแสดงในภาพที่ 2.6 และตารางที่ 2.1)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

**เซตของเอจหรือลิงก์ (Edges or Links)** แทนเส้นทางหรือโครงข่ายถนนที่เชื่อมระหว่างโหนดต่าง ๆ  $A = \{(i,j)|i,j \in V, i \neq j\}$  โดยในแต่ละเส้นทางของการศึกษารั้งนี้จะประกอบไปด้วยข้อมูลดังนี้ ระยะทาง ( $Dist_{i,j}$ ) และความเร็วเฉลี่ย ( $v_{i,j}$ ) ในการเดินทาง จากโหนด  $i$  ไปยังโหนด  $j$  โดยโครงข่ายถนนที่ออกแบบเส้นทางให้บริการรถโดยสารสาธารณะ ต้องมีคุณลักษณะที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. เป็นกราฟเชื่อมโยง (Connected graph) ในทุกโหนดต้องมีแนวเดินถึงกัน เพื่อที่สามารถสร้างเส้นทางโครงข่ายถนนเชื่อมต่อกันได้ทั้งหมด

2. เป็นกราฟถ่วงน้ำหนัก (Weighted graph) คือเส้นเชื่อมทุกเส้นของกราฟต้องมีค่าน้ำหนัก ซึ่งค่าน้ำหนักของเส้นเชื่อมต้องมีค่าเป็นบวกเสมอ โดยค่าน้ำหนักจะถูกแทนด้วยระยะทาง (หน่วย: เมตร) และความเร็วเฉลี่ย (หน่วย: กิโลเมตร/ชั่วโมง) ระหว่างโหนด ( $Links_{i,j}$ ) เพื่อนำค่าทั้งสองประมาณค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และระยะเวลาการให้บริการในเส้นเชื่อมได้

3. เป็นกราฟชนิดมัลติเพิลเอจ (Multiple edge) เป็นกราฟที่มีส่วนประกอบของเป็นเส้นเชื่อมมากกว่าหนึ่งเส้นที่เชื่อมระหว่างคู่โหนดเดียวกัน (ดังแสดงในภาพที่ 3.2) เนื่องจากจังหวัดเชียงรายมีการกำหนดรูปแบบเส้นทางเดินรถทางเดียว 2 รูปแบบ คือ เส้นทางที่บังคับเดินรถทางเดียวตลอดเวลา สัญลักษณ์ลูกศรทึบ (สีดำ) และเส้นทางที่บังคับเดินรถทางเดียวบางช่วงเวลา (ในช่วงโมงเร่งด่วน) ในช่วงเช้าเวลา 06:30-08:30 น. และช่วงเย็นเวลา 15:30-18:00 น. สัญลักษณ์ลูกศรโปร่ง (สีแดง) จึงจำเป็นต้องใช้เส้นเชื่อมที่บอกถึงทิศทาง (Directed graph) ในการเดินรถในคู่โหนดต่าง ๆ โดยสามารถแสดงตัวอย่างของข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลได้ (ดังแสดงในภาพที่ 3.3 และตารางที่ 3.2)



ภาพที่ 3.2 ลักษณะของกราฟมัลติเพิลเอจ (Multiple edge)

ข้อมูลในตารางที่ 3.2 แสดงเส้นเชื่อมจากโหนด  $i$  ไปยังโหนด  $j$  ประกอบไปด้วยข้อมูลสองลักษณะ คือเส้นทางที่อนุญาตให้เดินรถทางเดียว (จากโหนด 8 ไปโหนด 54) และเส้นทางอื่นเป็นเส้นทางที่กำหนดให้เดินรถสองทิศทาง โดยในเส้นเชื่อมทุกเส้นประกอบด้วยข้อมูลระยะทางและความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ในการเดินทาง

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างเส้นเชื่อมระหว่างโหนดในแผนที่ผังเมืองรวมเมืองเชียงราย

| เส้นเชื่อม (edge) |            | ระยะทาง          | ความเร็วเฉลี่ย  |
|-------------------|------------|------------------|-----------------|
| จาก ( $i$ )       | ไป ( $j$ ) | Distance (meter) | Speed (km./hr.) |
| 8                 | 54         | 397.7            | 22              |
| 9                 | 8          | 212.9            | 7               |
| 8                 | 9          | 212.9            | 7               |
| 46                | 1          | 126.3            | 18              |
| 1                 | 46         | 126.3            | 18              |



ภาพที่ 3.3 ระยะทางและทิศทางการเดินทางในเขตพื้นที่ ต.รอบเวียง จ.เชียงใหม่

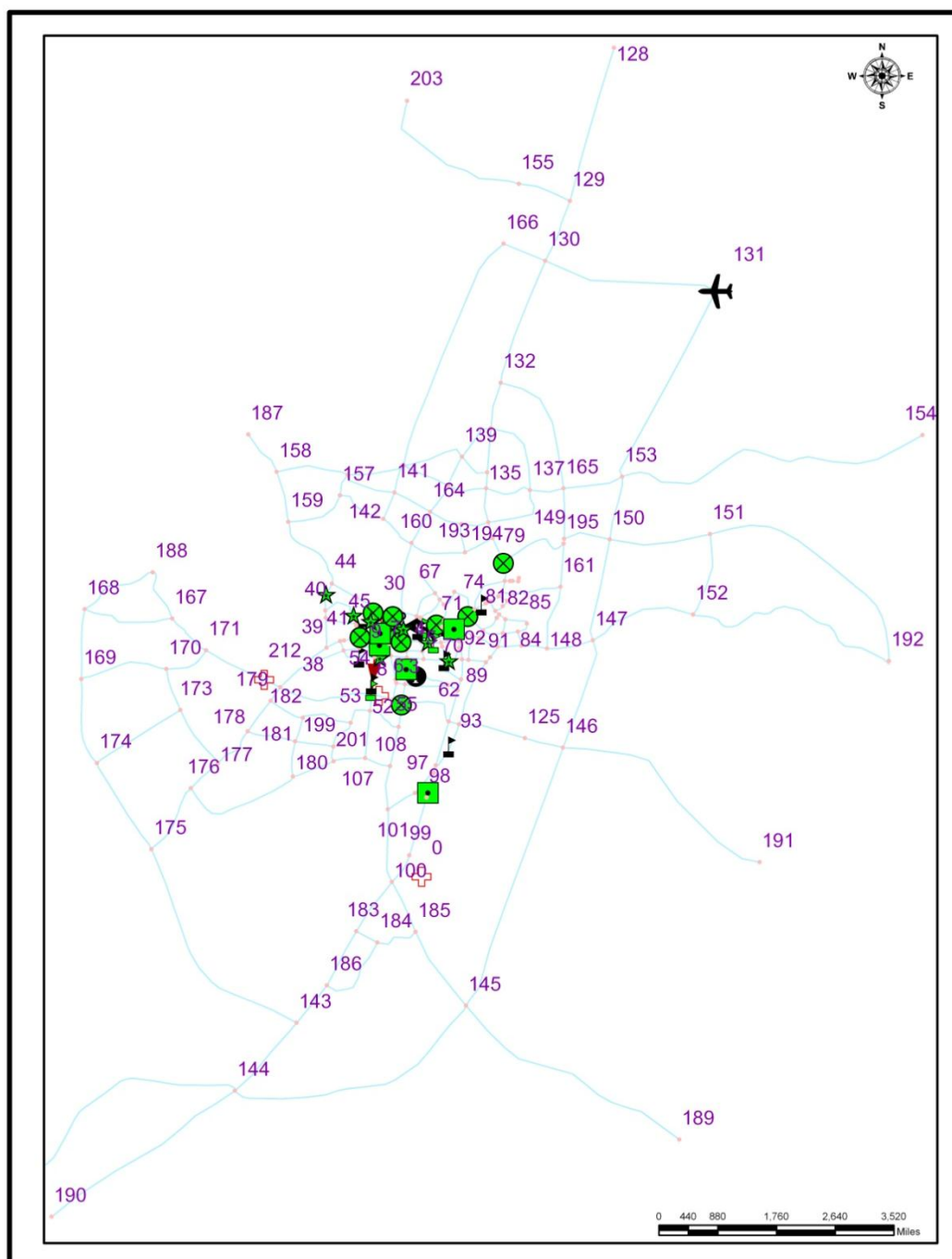
เมื่อทราบถึงวิธีการสร้างโครงข่ายระบบขนส่งสาธารณะที่ใช้ในแบบจำลองแล้ว ผู้วิจัยได้ศึกษาโปรแกรมจัดทำแผนที่ เพื่อสร้างแผนที่เขตผังเมืองรวม และโครงข่ายการจราจร (ดังแสดงในภาพที่ 3.4 และ 3.5) เพื่อให้ทราบถึงระยะทางในการเดินทางในโหนดต่าง ๆ ในเขตผังเมืองรวมเมืองเชียงราย

แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะที่ออกแบบ สามารถอธิบายรายละเอียดองค์ประกอบ ค่าสัมประสิทธิ์ พารามิเตอร์ ตัวแปร ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และข้อจำกัด ได้ดังนี้

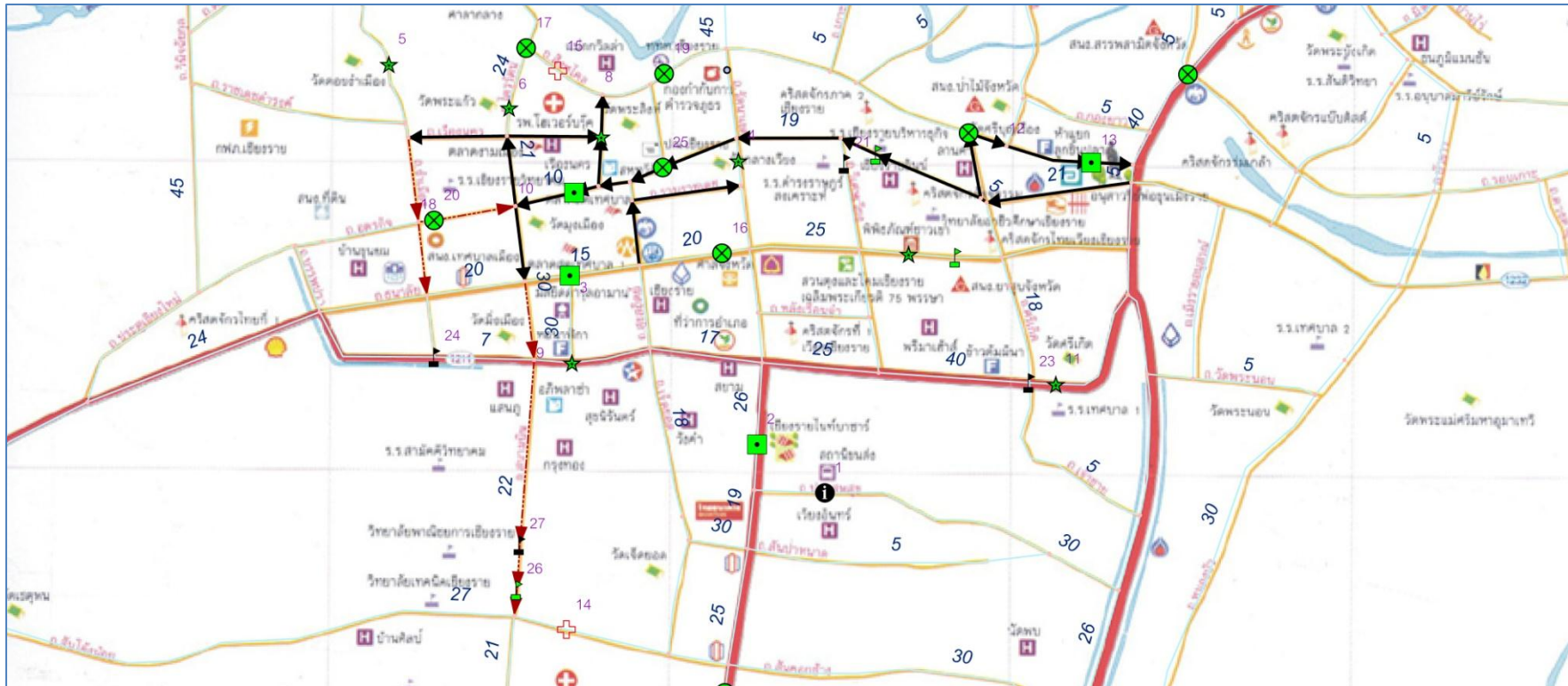
1. ค่าสัมประสิทธิ์และพารามิเตอร์ (Coefficient and Parameter) เป็นค่าคงที่ในสมการเป้าหมาย และข้อจำกัดที่กำหนดขึ้น ซึ่งเป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ของแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.3 และ 3.4 และ ผู้ศึกษาได้ทำการสำรวจความเร็วเฉลี่ยในเส้นทางหลักในกระแสดการจราจรจริง (ดังแสดงในภาพที่ 3.5) เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์หาค่าการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และระยะเวลาในการให้บริการในเส้นทางต่าง ๆ

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ

| พารามิเตอร์ | คำอธิบาย                                                                                                                                   |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $r$         | ดัชนีการเดินทางในเส้นทาง $r$                                                                                                               |
| $v_{i,j}$   | ความเร็วเฉลี่ยการให้บริการจากโหนด $i$ ไปโหนด $j$ (หน่วย: กิโลเมตร/ชั่วโมง)                                                                 |
| $MaxTravT$  | ระยะเวลาสูงสุดที่อนุญาตให้เดินทางในแต่ละเส้นทาง เพื่อป้องกันมิให้มีเส้นทางหนึ่งเส้นทางใดมีระยะเวลาในการให้บริการที่มากเกินไป (หน่วย: นาที) |



ภาพที่ 3.4 แผนที่เขตผังเมืองรวมที่ใช้ในการออกแบบระบบขนส่งสาธารณะ



ภาพที่ 3.5 ความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ออกแบบระบบขนส่งสาธารณะในพื้นที่ ต.รอบเวียง จ.เชียงราย

ตารางที่ 3.4 สัมประสิทธิ์ที่ใช้ในแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ

| ค่าสัมประสิทธิ์ | คำอธิบาย                                                                                                              |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Dists_{i,j}$   | ระยะทางจากโหนด $i$ ไปโหนด $j$ (หน่วย: เมตร) สามารถหาได้จากการสร้างแผนที่ผังเมืองรวมเมืองเชียงรายกับโปรแกรมจัดทำแผนที่ |
| $Fuels_{i,j}$   | การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง จากโหนด $i$ ไปโหนด $j$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.1)                                  |
| $FCR_{i,j}$     | อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงความเร็วต่าง ๆ สามารถหาค่าได้จากสมการที่ (3.2)                                      |
| $TravT_{i,j}$   | ระยะเวลาในการเดินทาง จากโหนด (Node) $i$ ไปโหนด (Node) $j$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.4)                             |

การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ( $FuelC_{i,j}$ ) ในแต่ละเส้นเป็นฟังก์ชันที่แสดงถึงการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในลิงค์ ( $i,j$ ) ที่สามารถคำนวณได้จากระยะทางในการเดินทางจากโหนด  $i$  ไป  $j$  (หน่วย: เมตร) หารด้วยอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Consumption Rate: FCR) (หน่วย: กิโลเมตร/ลิตร) ในช่วงความเร็วในลิงค์ ( $i,j$ ) ที่กำหนด (ดังแสดงในสมการที่ 3.1)

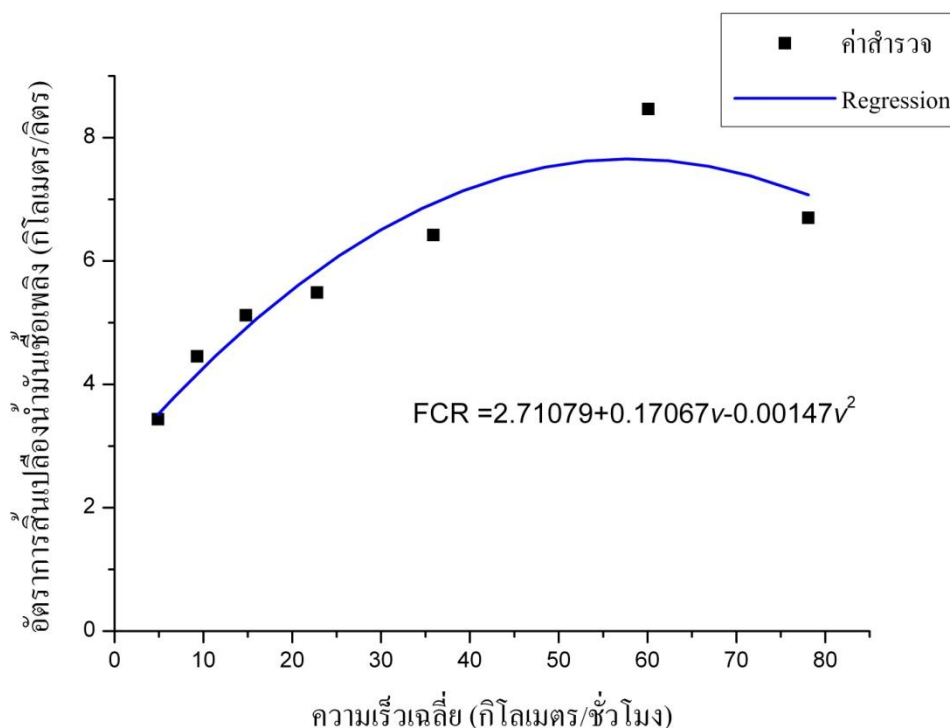
$$FuelC_{i,j} = \frac{DistS_{i,j}}{1,000(FCR_{i,j})}; \{ \forall (i,j) \in Links \} \quad (3.1)$$

การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้รถโดยสารมินิบัส (Minibus) ในการออกแบบระบบขนส่งสาธารณะ เนื่องจากรูปแบบถนนในจังหวัดเชียงราย (บางเส้นทาง) มีขนาดเล็กไม่มีพื้นที่เพียงพอที่จะจัดให้เป็นที่ยอดรถโดยสารขนาดมาตรฐาน ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาการจราจรในพื้นที่ให้บริการ กระทรวงที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน การขนส่ง และการท่องเที่ยว (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism [MLIT], 2004) ได้ศึกษาถึงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของรถโดยสารมินิบัส (Minibus) ช่วงความเร็วต่าง ๆ ที่ให้บริการในเขตกรุงเทพมหานคร ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของรถมินิบัส (FCR: Fuel Consumption Rate)

|                                                    | ความเร็วเฉลี่ย ( $v_{i,j}$ ) (กม./ชม.) |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                    | 4.9                                    | 9.3   | 14.8  | 22.8  | 35.9  | 60.1  | 78.1  |
| อัตราการสิ้นเปลือง<br>น้ำมันเชื้อเพลิง (กม./ลิตร.) | 3.433                                  | 4.452 | 5.118 | 5.487 | 6.420 | 8.464 | 6.699 |

จากตารางที่ 3.5 แสดงข้อมูลอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของรถโดยสารมินิบัส (Minibus) ช่วงความเร็วต่าง ๆ เพียงบางช่วงความเร็วเท่านั้น จึงจำเป็นต้องใช้การปรับเส้นโค้งเชิงพหุนาม (Polynomial curve fitting) เพื่อประมาณค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในตำแหน่งต่าง ๆ นอกเหนือจากตำแหน่งที่วัดได้จากการจัดเก็บข้อมูล โดยสามารถแสดงค่าที่ได้จากการประมาณค่าการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (ดังแสดงในภาพที่ 3.6 และสมการที่ 3.2) โดยมีค่าความเชื่อมั่น  $R^2 = 0.92$  ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี



ภาพที่ 3.6 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงความเร็ว 5 – 78 กม./ชม.

จากสมการในภาพที่ 3.6 แทนความเร็วเฉลี่ย (velocity) หรือ  $v$  ด้วยค่าความเร็วเฉลี่ยที่สำรวจได้ในเส้นทางต่าง ๆ ( $v_{i,j}$ ) จะได้สมการที่ใช้ประมาณค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงความเร็วต่าง ๆ ( $FCR_{i,j}$ ) ในแต่ละเส้นทางดังแสดงในสมการที่ 3.2

$$FCR_{i,j} = 2.71079 + 0.17067v_{i,j} - 0.00147v_{i,j}^2 \quad (3.2)$$

จากการศึกษาถึงจัดเส้นทางและจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะจำเป็นต้องหาทราบถึงระยะเวลาในการให้บริการในแต่ละเส้นทาง เนื่องจากต้องใช้เวลาในการให้บริการในแต่ละเส้นทางเพื่อไม่ให้เกินที่กำหนด และต้องใช้ในการประมาณเวลาในการให้บริการในแต่ละเส้นทาง เพื่อใช้ในการจัดตารางการให้บริการเดินรถโดยสารสาธารณะ ซึ่งระยะเวลาในการให้บริการเป็นส่วนกลับของระยะทางในการให้บริการ สามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ 3.3

$$Distance(meter) = Average\ Speed\left(\frac{1,000\ meter}{60\ minute}\right) \times Travel\ Time(minute) \quad (3.3)$$

โดยระยะเวลาในการเดินทาง ( $TravT_{i,j}$ ) จากโหนด  $i$  ไปโหนด  $j$  เป็นฟังก์ชันของระยะทาง ( $Dists_{i,j}$ ) กับความเร็วเฉลี่ย ( $v_{i,j}$ ) โดย สามารถหาค่าได้ดังแสดงในสมการที่ 3.4

$$TravT_{i,j} = Dists_{i,j} \times \frac{0.06}{v_{i,j}}; \{ \forall (i,j) \in Links \} \quad (3.4)$$

2. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) เป็นคำตอบของแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ มีตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจทั้งสิ้น 2 ตัวแปร คือ  $u_{i,r}$  และ  $x_{i,j,r}$  ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ตัวแปรตัดสินใจในแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ

| ตัวแปร      | คำอธิบาย                                                                                                                                                                              |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $u_{i,r}$   | เป็นตัวแปรที่อธิบายถึงลำดับที่ในการให้บริการในสถานี $i$ ในเส้นทาง $r$                                                                                                                 |
| $x_{i,j,r}$ | เป็นตัวแปรชนิดเลขฐาน 2 คือมีค่าที่เป็นไปได้คือ 0 กับ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 1 กรณีที่ เส้นเชื่อม $i$ ไป $j$ ในเส้นทาง $r$ เป็นเส้นทางที่เหมาะสมในการให้บริการ และมีค่าเท่ากับ 0 กรณีอื่น ๆ |

### 3.1.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และข้อจำกัด

#### 3.1.2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ คือ เพื่อสร้างโครงข่ายการให้บริการรถโดยสารสาธารณะที่มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงรวมทุกเส้นทางต่ำที่สุด (ดังแสดงในสมการที่ 3.5)

$$\min z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} Fuel_{i,j} \sum_{r \in ROUTES} x_{i,j,r} \quad (3.5)$$

3.1.2.2 ข้อจำกัด (Constraint) แบบจำลองการจัดเส้นทางยานพาหนะ มีรายละเอียดดังแสดงในสมการที่ 3.6 – 3.15

ข้อจำกัดที่ 1 ข้อจำกัดการสร้างเส้นทางทุกเส้นทางจะต้องเริ่มต้นที่สถานีขนส่ง และจำนวนเส้นทางที่ให้บริการต้องไม่เกินจำนวนเส้นทางที่กำหนด (ดังแสดงในสมการที่ 3.6)

$$\sum_{r \in ROUTES} \sum_{j \in N} x_{FD,j,r} \leq FDTimes[FD]; \forall FD \in \{1..FD\}; \quad (3.6)$$

ข้อจำกัดที่ 2 ข้อจำกัดการสร้างเส้นทางในแต่ละเส้นทางที่ให้บริการสามารถเริ่มต้นที่สถานีขนส่งได้ 1 ครั้งต่อรอบการให้บริการเท่านั้น (ดังแสดงในสมการที่ 3.7)

$$\sum_{j \in N} x_{FD,j,r} \leq 1; \forall FD \in FDepot, \forall r \in ROUTES; \quad (3.7)$$

ข้อจำกัดที่ 3 ข้อจำกัดด้านการสร้างเส้นทางทุกเส้นทางจะต้องสิ้นสุดการให้บริการที่สถานีขนส่ง และจำนวนเส้นทางที่สิ้นสุดในแต่ละสถานีต้องไม่เกินจำนวนเส้นทางที่กำหนด (ดังแสดงในสมการที่ 3.8)

$$\sum_{r \in ROUTES} \sum_{i \in N} x_{i,LD,r} \leq LDTimes[LD]; \forall LD \in \{1..LD\}; \quad (3.8)$$

ข้อจำกัดที่ 4 ข้อจำกัดด้านเส้นทาง ระยะเวลาในการให้บริการในแต่ละเส้นทางจะต้องไม่เกินระยะเวลาที่กำหนดไว้สูงสุด เพื่อมิให้มีเส้นทางหนึ่งเส้นทางใดมีระยะเวลาในการให้บริการมากเกินไป (ดังแสดงในสมการที่ 3.9)

$$\sum_{i \in N} \sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} TravT_{i,j} x_{i,j,r} \leq MaxTravT; \{r \in ROUTES\} \quad (3.9)$$

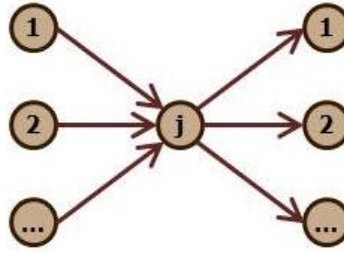
ข้อจำกัดที่ 5 ข้อจำกัดด้านการให้บริการในทุกตำแหน่งของป้ายรถเมล์หรือจุดเปลี่ยนถ่ายผู้โดยสารต้องมีเส้นทางให้บริการไม่น้อยกว่าจำนวนเส้นทางที่กำหนดในป้ายรถเมล์หรือจุด

เปลี่ยนถ่ายผู้โดยสาร ( $BSTimes[BS]$ ) และในตำแหน่งใด ๆ ที่มีใช้ป้ายรถเมล์หรือจุดเปลี่ยนถ่ายผู้โดยสาร สามารถพิจารณาว่าจะมีเส้นทางให้บริการหรือไม่ ( $\geq 0$ ) (ดังแสดงในสมการที่ 3.10)

$$\sum_{r \in ROUTES} \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq BS}} x_{i,BS,r} \geq BSTimes[BS]; \forall BS \in \{1..bs\} \quad (3.10)$$

ข้อจำกัดที่ 6 ข้อจำกัด Node balance constraint ในโหนด  $j$  ใด ๆ ก็ตามที่เส้นทาง  $r$  ที่เข้าให้บริการในโหนด  $j$  นั้นจะต้องมีเส้นทาง  $r$  ออก (เสร็จสิ้นการให้บริการ) เช่นกัน (ดังแสดงในสมการที่ 3.11 และภาพที่ 3.7)

$$\sum_{i \in N} x_{i,j,r} = \sum_{k \in N} x_{j,k,r}; \left\{ \begin{array}{l} j \in N; \\ r \in ROUTES; \end{array} \right\} \quad (3.11)$$



ภาพที่ 3.7 ลักษณะของ Node & Route balance constraint

ข้อจำกัดที่ 7 ข้อจำกัดที่ใช้ตรวจสอบป้ายรถเมล์ หรือจุดเปลี่ยนถ่ายผู้โดยสาร (Route balance constraint) จำนวนเส้นทางที่เข้าให้บริการในป้ายรถเมล์ต้องเท่ากับจำนวนเส้นทางที่ออกจากป้ายรถเมล์ (ดังแสดงในสมการที่ 3.12 และภาพที่ 3.7)

$$\sum_{r \in ROUTES} x_{i,j,r} = \sum_{r \in ROUTES} x_{j,k,r}; \{i, j, k \in N; \} \quad (3.12)$$

ข้อจำกัดที่ 8 ข้อจำกัดในการสร้างและตรวจสอบเส้นทางย่อย (Sub Tour Elimination, STE) ในแต่ละเส้นทาง และใช้ป้องกันการสร้างเส้นทางมากกว่าหนึ่งเส้นทางที่ไม่ต่อเนื่องกัน โดยกำหนดให้ลำดับการให้บริการของโหนด คือ  $u_{i,r}$  และ  $u_{j,r}$  ในเส้นทาง  $r$  ใด ๆ ต้องเรียงลำดับจากค่าน้อยไปหามากเสมอ เพื่อป้องกันการวิ่งวนมาที่จุดที่ให้บริการแล้ว (ดังแสดงในสมการที่ 3.13)

$$u_{i,r} - u_{j,r} + nx_{i,j,r} \leq (n - 1); \quad (3.13)$$

ข้อจำกัดในการสร้างและตรวจสอบเส้นทางย่อย กำหนดให้ทุกเส้นทางกำหนดเริ่มต้นที่สถานีขนส่งและมีค่าเท่ากับ 0 (ดังแสดงในสมการที่ 3.14)

$$u_{FD,r} = 0; \quad (3.14)$$

ข้อจำกัดในการสร้างและตรวจสอบเส้นทางย่อย กำหนดให้ค่าของโหนดที่ให้บริการในเส้นทาง  $r$  คือ  $u_{i,r}$  และ  $u_{j,r}$  มีค่าระหว่าง 0 –  $n$  เท่านั้น (ดังแสดงในสมการที่ 3.15)

$$0 \leq u_{i,r} \leq n, real; \quad (3.15)$$

จาก Miller, C. E., Tucker A. W. & Zemlin R. A. (1960). Integer programming formulation of Traveling salesman problems. **Journal of ACM**, 7(4), 326-329.

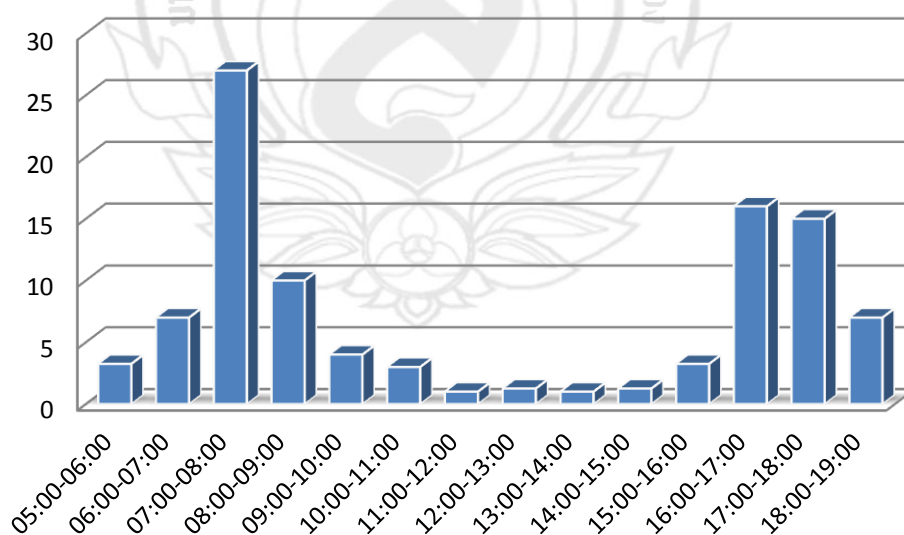
### 3.2 แบบจำลองการจัดการตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ (Vehicle Scheduling Problem)

จากการศึกษาวิจัยของ ชู (Zhu, 1991) และกาญจน์กรอง ปิยะไพร (2547) ที่ให้ความสำคัญกับปรับปรุงการให้บริการเดินรถโดยสารประจำทางเพื่อลดต้นทุนการให้บริการ โดยอาศัยการหมุนเวียนรถภายในเส้นทาง โดยมีข้อสมมติฐานเบื้องต้น คือ ไม่มีการวิ่งเที่ยวรถเปล่ากลับ และระยะเวลาในการเดินรถเป็นไปตามเวลาที่คำนวณได้ รวมถึงไม่มีอุบัติเหตุหรือความล่าช้าอื่นในช่วงเวลาการให้บริการ

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้เพิ่มข้อจำกัดในการจัดการตารางเดินรถโดยกำหนดให้มีการหมุนเวียนรถระหว่างเส้นทาง อันอาจเป็นการลดจำนวนรถในการให้บริการลง และให้ความสำคัญกับการกำหนดความถี่การเดินรถ ซึ่งมีความสำคัญต่อการกำหนดความต้องการของจำนวนรถโดยสาร พนักงานขับรถ และพนักงานเก็บค่าโดยสาร โดยกำหนดการเดินรถ สามารถกำหนดค่าระยะห่างของเวลาในการให้บริการ (Headway) (ดังแสดงในสมการที่ 2.1) โดยที่กำหนดการเดินรถจะแตกต่างกันไป ตามช่วงเวลาการเดินทางในแต่ละวัน และในแต่ละช่วงเวลา อาทิเช่น ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเช้าและตอนเย็น ซึ่งจะมีการกำหนดการเดินรถที่มีความถี่สูงกว่าในช่วงเวลากลางวันที่ไม่ใช่ชั่วโมงเร่งด่วน นอกจากนั้นกำหนดการเดินรถอาจแตกต่างกันในช่วงวันทำงานและวันหยุดด้วย ในบางครั้งอาจมีการปรับเปลี่ยนระยะห่างของเวลาในการให้บริการ (ความถี่) เพื่อประโยชน์ในการหมุนเวียนรถภายใน หรือระหว่างเส้นทาง โดยจะมีการกำหนดระยะห่างของการเดินรถตามนโยบาย (Policy Headway) ว่าค่าต่ำสุดและสูงสุดของการกำหนดระยะห่างของการเดินรถ ควรเป็น

เท่าใด โดยปกติแล้วค่าระยะห่างของการให้บริการตามนโยบายจะถูกกำหนด โดยคำนึงถึงระดับการให้บริการต่ำที่สุดที่จะจัดให้บริการได้

จากข้อมูลสำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงรายได้กำหนดให้ค่าความถี่ในการให้บริการขั้นต่ำ (ความถี่เชิงนโยบาย) ในให้บริการ 2 เส้นทาง คือเส้นทางสถานีขนส่งเดิม-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และเส้นทางสถานีขนส่งเดิม-บ้านสันทราย คือ (28/28) และ (24/24) เทียบต่อวัน ตามลำดับ (ไป/กลับ) และเมื่อหาค่าเฉลี่ยของความถี่เชิงนโยบาย โดยคิดจากชั่วโมงการให้บริการต่อวัน 14 ชั่วโมง (06.00 น.-19.00 น.) จะได้จำนวนเที่ยวเฉลี่ยต่อชั่วโมง คือ 2 และ 1.7 เทียบต่อชั่วโมงตามลำดับ และจากการสอบถามผู้ให้บริการทั้งสองเส้นทาง ถึงความถี่ในการให้บริการจริง พบว่าความถี่ในการให้บริการเท่ากับ 3 และ 2 เทียบต่อชั่วโมงตามลำดับ (ความถี่ในการให้บริการจริงสูงกว่าค่าความถี่เชิงนโยบาย) โดยมีค่าระยะห่างการให้บริการเท่ากับ 20 และ 30 นาที/คันตามลำดับ ซึ่งการกำหนดความถี่ในการให้บริการทั้ง 2 เส้นทางใช้ความถี่เดียวกันตลอดทั้งวัน โดยไม่ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้โดยสารในชั่วโมงเร่งด่วนแต่ประการใด แต่จากผลสำรวจการเดินทางของผู้พักอาศัยในเขตเทศบาลนครเชียงราย ในด้านของจำนวนการเดินทางโดยจำแนกตามช่วงเวลา พบว่าเปอร์เซ็นต์การเดินทางแบ่งตามช่วงเวลาชั่วโมงที่มีการเดินทางสูงสุดคือ ช่วง 7:00 – 8:00 น, 16:00 – 17:00 น. และ 17:00 - 18:00 น. ซึ่งมีค่าเท่ากับ 27% 16% และ 15% ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพที่ 3.8)



ภาพที่ 3.8 ผลสำรวจการเดินทางของผู้พักอาศัยในเขตเทศบาลนครเชียงรายจำแนกตามช่วงเวลา

จากข้อมูลผลสำรวจการเดินทางของผู้พักอาศัยในเขตเทศบาลนครเชียงราย ถ้าผู้ให้บริการสามารถจัดตารางการให้บริการเดินรถโดยสารสาธารณะ ที่สามารถตอบสนองความต้องการในการเดินทางของผู้โดยสารได้เพิ่มขึ้นแล้ว (ความถี่ขึ้นอยู่กับความต้องการในการเดินทาง) น่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะมีผู้หันมาใช้รถโดยสารสาธารณะมากขึ้น ผู้วิจัยจึงให้ความสนใจกับปรับตารางการเดินรถโดยสารสาธารณะที่ให้บริการในปัจจุบันให้ขึ้นอยู่กับตามความต้องการของผู้โดยสารที่เพิ่มขึ้น (ดังแสดงในตารางที่ 3.7)

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลการให้บริการรถโดยสารสาธารณะหลังจากเปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการ

| สถานีให้บริการ/<br>ช่วงเวลาให้บริการ |               | สถานีขนส่งเดิม-<br>มหาวิทยาลัยราชภัฏ |        | สถานีขนส่งเดิม-<br>บ้านสันทราย |        |
|--------------------------------------|---------------|--------------------------------------|--------|--------------------------------|--------|
| ช่วงเวลา<br>(Period)                 | เวลาให้บริการ | จำนวนเที่ยว                          |        | จำนวนเที่ยว                    |        |
|                                      |               | (ไป)                                 | (กลับ) | (ไป)                           | (กลับ) |
| 1                                    | 06:00 – 07:00 | 3                                    | 3      | 2                              | 3      |
| 2                                    | 07:00 – 08:00 | 4                                    | 4      | 3                              | 3      |
| 3                                    | 08:00 – 09:00 | 3                                    | 3      | 2                              | 2      |
| 4                                    | 09:00 – 10:00 | 3                                    | 3      | 2                              | 2      |
| 5                                    | 10:00 – 11:00 | 3                                    | 3      | 2                              | 2      |
| 6                                    | 11:00 – 12:00 | 3                                    | 3      | 2                              | 2      |
| 7                                    | 12:00 – 13:00 | 3                                    | 3      | 3                              | 3      |
| 8                                    | 13:00 – 14:00 | 3                                    | 3      | 2                              | 2      |
| 9                                    | 14:00 – 15:00 | 3                                    | 3      | 2                              | 2      |
| 10                                   | 15:00 – 16:00 | 3                                    | 3      | 2                              | 2      |
| 11                                   | 16:00 – 17:00 | 4                                    | 3      | 3                              | 2      |
| 12                                   | 17:00 – 18:00 | 4                                    | 4      | 3                              | 3      |
| 13                                   | 18:00 – 19:00 | 4                                    | 4      | 3                              | 3      |
| 14                                   | 19:00 – 20:00 | 3                                    | 3      | 2                              | 2      |
| รวม                                  |               | 46                                   | 45     | 33                             | 33     |

### 3.2.1 เซต พารามิเตอร์ ฟังก์ชัน และตัวแปรตัดสินใจ

การศึกษาการจัดตารางยานพาหนะใช้ทฤษฎีกราฟ (Graph theory) ช่วยในการออกแบบและอธิบายถึงเส้นทางและระยะเวลาในการให้บริการเดินรถโดยสารสาธารณะ ประกอบด้วยเซตของโหนดและเซตของเอจหรือลิงค์

3.2.1.1 เซตของโหนด ประกอบไปด้วยเซตของช่วงเวลา ชั่วโมง สถานี และเส้นทาง (ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.8)

ตารางที่ 3.8 เซตที่ใช้ในแบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ

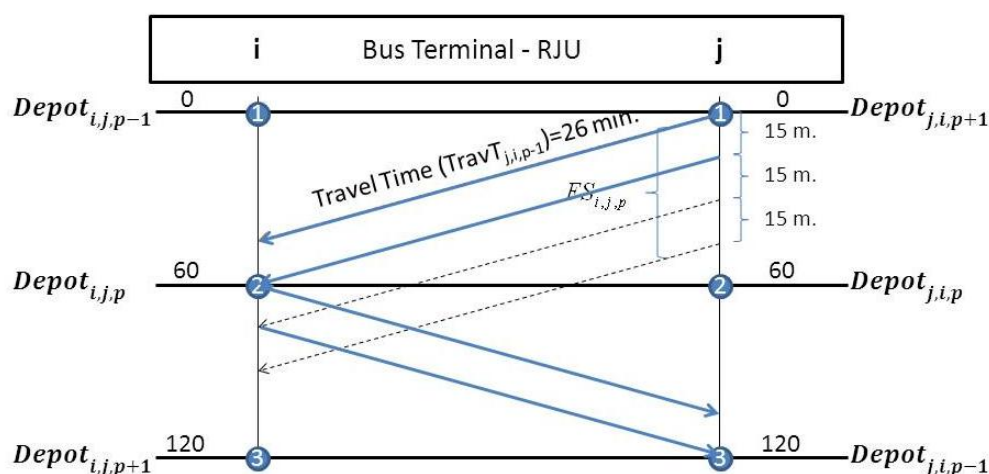
| เซต        | คำอธิบาย                                                                                                                   |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $P:=1..np$ | เซตของช่วงเวลา (Period) ที่ให้บริการ (14 ชั่วโมง) ระหว่างเวลา 6:00 น.–19:00 น.                                             |
| $H:=1..nh$ | เซตของชั่วโมง (Hours) เป็นช่วงเวลาที่ตรวจสอบจำนวนรถที่เข้ามาถึงสถานีที่กำหนดภายในชั่วโมงที่ $h$ (ที่กำหนด)                 |
| $DEPOTS$   | เซตของชื่อสถานี (Depots) ที่ให้บริการ แสดงถึงเซตที่กำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นและเซตของจุดสิ้นสุดการให้บริการในเส้นทางที่กำหนด |

เซตของเอจหรือลิงค์ ประกอบไปด้วยเส้นเชื่อมที่อธิบายถึงเส้นทางและระยะเวลาในการให้บริการจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสิ้นสุด โดยแทนน้ำหนัก (weight) ด้วยระยะเวลาในการให้บริการจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสิ้นสุดการเดินทาง ( $TravT_{i,j,p}$ ) ที่สามารถหาค่าได้จากแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ (ดังแสดงในสมการที่ 3.4)

แบบจำลองการจัดตารางการให้บริการรถโดยสารสาธารณะ สามารถอธิบายองค์ประกอบพารามิเตอร์ (ดังแสดงในตารางที่ 3.9) ตัวแปร (ดังแสดงในตารางที่ 3.10) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และข้อจำกัด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.9 พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ

| พารามิเตอร์     | คำอธิบาย                                                                                                                                    |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $T_s$           | ค่าของช่วงเวลา (time step) ที่ต้องการตรวจสอบจำนวนรถที่เข้ามาในสถานี กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 60 นาที                                            |
| $Time_{i,j,p}$  | เวลาเริ่มต้นที่ให้บริการจากสถานี $i$ ไปสถานี $j$ ในช่วงเวลา $p$                                                                             |
| $TravT_{i,j,p}$ | เวลาในการให้บริการจากสถานี $i$ ไปสถานี $j$ ในช่วงเวลา $p$ ในที่นี้กำหนดให้เวลาในการเดินทางในทุกช่วงเวลามีค่าเท่ากัน (ดังแสดงในตารางที่ 4.1) |
| $FR_{i,j,p}$    | ค่าความถี่เชิงนโยบาย (Frequency Requirement) ที่กำหนดให้บริการจากสถานี $i$ ไปสถานี $j$ ในช่วงเวลา $p$                                       |



จาก Zhu, W. (1991). **Bus scheduling management in Bangkok**. Doctor of Technical Science Dissertation. No.IE-91-1, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

ภาพที่ 3.9 การคำนวณค่า  $BusFunc_{h,i,j,p}$

จากภาพที่ 3.9 แสดงวิธีการคำนวณค่า  $BusFunc_{h,i,j,p}$  คือ จำนวนรถที่พร้อมให้บริการจากสถานี  $i$  ที่ออกจากสถานี  $j$  ในช่วงเวลา  $p$  ที่เข้ามาภายในชั่วโมงที่  $h$  หลังออกให้บริการจากสถานี  $j$  (ดังแสดงในสมการที่ 3.16)

$$BusFunc_{h,i,j,p} = \max \left( 0, \min \left( 1, \frac{(CheckTime) - (TimeStart + TravelTime)}{(TimeStep)} \right) \right) \quad (3.16)$$

สมการที่ 3.17 เป็นสมการที่ใช้คำนวณจำนวนรถที่พร้อมให้บริการจากสถานี  $i$  ไปยังสถานี  $j$  ในช่วงเวลา  $p$  ที่เข้ามาภายในชั่วโมงที่  $h$  (ค่าที่ได้เป็นร้อยละมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 กรณีที่ ค่า 1 หมายถึง จำนวนรถที่เข้ามาภายในชั่วโมงนั้นคิดเป็น 100% ของความถี่ที่ให้บริการ)

$$BusFunc_{h,i,j,p} = \max \left( 0, \min \left( 1, \frac{(Time_{i,j,p} + ts) - (Time_{j,i,p-(h-1)} + TravT_{j,i,p-(h-1)})}{ts} \right) \right) \\ \forall h \in H, \forall (i,j) \in ROUTES, \forall p \in P; \quad (3.17)$$

ตารางที่ 3.10 ตัวแปรตัดสินใจในแบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ

| ตัวแปร                     | คำอธิบาย                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $BuswithinHours_{h,i,j,p}$ | จำนวนรถที่พร้อมให้บริการจากสถานี $i$ ไปสถานี $j$ ใด ๆ เท่ากับ<br>จำนวนรถที่เสร็จสิ้นการให้บริการจากสถานี $j$ ที่เข้ามาในสถานี $i$<br>ในช่วงเวลา $p$ ที่เข้ามาภายในชั่วโมงที่ $h$ หลังจากเริ่มต้นให้บริการจาก |
| $BusinHours_{h,i,j,p}$     | จำนวนรถที่พร้อมให้บริการจากสถานี $i$ ไปสถานี $j$ ใด ๆ เท่ากับ<br>จำนวนรถที่เสร็จสิ้นการให้บริการจากสถานี $j$ ที่เข้ามาในสถานี $i$<br>ในช่วงเวลา $p$ ที่เข้ามาในชั่วโมงที่ $h$ หลังจากเวลาเริ่มต้นให้บริการ   |
| $TBIH_{i,p}$               | Total Buses in Hours หรือผลรวมของจำนวนรถที่เสร็จสิ้นการ<br>ให้บริการจากสถานีใด ๆ ที่เข้ามาสถานี $i$ ในช่วงเวลา $p$                                                                                           |
| $FS_{i,j,p}$               | Frequency Service หรือความถี่ในการให้บริการจากสถานี $i$ ไปสถานี<br>$j$ ในช่วงเวลา $p$                                                                                                                        |
| $TFS_{i,p}$                | Total Frequency Service หรือผลรวมความถี่ในการให้บริการจาก<br>สถานี $i$ ไปสถานีใด ๆ ในช่วงเวลา $p$                                                                                                            |
| $Terminal_{i,j,p}$         | จำนวนรถคงเหลือหลังจากให้บริการจากในเส้นทาง $i$ ไป $j$ ช่วงเวลา                                                                                                                                               |
| $TotalTerminal_{i,p}$      | ผลรวมของจำนวนรถคงเหลือในสถานี $i$ หลังจากให้บริการจาก<br>สถานี $i$ ไปสถานี $j$ ใด ๆ ในช่วงเวลา $p$                                                                                                           |

ตารางที่ 3.10 (ต่อ)

| ตัวแปร             | คำอธิบาย                                                              |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| $Depot_{i,j,p}$    | จำนวนรถที่ออกให้บริการจากสถานี $i$ ไปสถานี $j$ ในช่วงเวลา $p$         |
| $TotalDepot_{i,p}$ | ผลรวมของจำนวนรถที่ออกให้บริการจากสถานี $i$ ไปสถานีใด ๆ ในช่วงเวลา $p$ |

### 3.2.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และข้อจำกัด

#### 3.2.2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ คือ ต้องการบริหารรถให้มีประสิทธิภาพสูงสุดตามตารางการให้บริการที่กำหนด โดยใช้จำนวนรถน้อยที่สุด โดยอาศัยการหมุนเวียนรถ ภายในและระหว่างสถานี เพื่อเพิ่มความถี่การให้บริการ อันอาจเป็นการลดการใช้จำนวนรถที่ให้บริการลง (ดังแสดงในสมการที่ 3.18)

$$\text{Minimize } z = \sum_{i \in DEPOTS} \sum_{p \in P} TotalDepot_{i,p} \quad (3.18)$$

#### 3.2.2.2 ข้อจำกัด (Constraint)

ข้อจำกัดของแบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ (1) การคำนวณจำนวนรถที่เข้ามาในสถานี และ (2) กระบวนการทำซ้ำเพื่อหาค่าการหมุนเวียนรถภายในและระหว่างเส้นทาง โดยสามารถแสดงรายละเอียดในสมการที่ 3.19 – 3.32

##### 1. ข้อจำกัดการคำนวณจำนวนรถที่เข้ามาในสถานี

ข้อจำกัดที่ 9 ความถี่ของรถที่ให้บริการ (Frequency Service) จากสถานี  $i$  ไปสถานี  $j$  ในช่วงเวลา  $p$  ใด ๆ ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับความถี่เชิงนโยบาย (Frequency Requirement) ที่กำหนด และต้องมีค่าไม่เกิน 2 เท่าของความถี่เชิงนโยบายที่กำหนด (ดังแสดงในสมการที่ 3.19)

$$FR_{i,j,p} \leq FS_{i,j,p} \leq 2FR_{i,j,p}; \forall (i,j) \in ROUTES, \forall p \in P; \quad (3.19)$$

ข้อจำกัดที่ 10 จำนวนรถที่พร้อมให้บริการจากสถานี  $i$  ไปสถานี  $j$  ในช่วงเวลา  $p$  ในกรณีที่  $p < h$  (ช่วงเวลาที่ต้องการตรวจสอบมีค่าน้อยกว่า ชั่วโมงที่มาถึงหรือพร้อมให้บริการ) มีค่าเท่ากับ 0 (ดังแสดงในสมการที่ 3.20)

$$BuswithinHour_{h,i,j,p} = 0; \forall h \in H, \forall (i,j) \in ROUTES, \forall p \in 1..(h-1); \quad (3.20)$$

ในกรณีอื่น ๆ อัตราส่วนจำนวนรถที่พร้อมให้บริการจากสถานี  $i$  ไปสถานี  $j$  ใด ๆ เท่ากับจำนวนรถที่เสร็จสิ้นการให้บริการจากสถานี  $j$  ที่เข้ามาในสถานี  $i$  ในช่วงเวลา  $p$  ที่เข้ามาภายใน  $h$  ชั่วโมง นับจากเวลาเริ่มต้นให้บริการจากสถานี  $j$  คูณด้วยความถี่ในการให้บริการจากสถานี  $j$  ไปสถานี  $i$  ในช่วงเวลาเดียวกัน (ดังแสดงในสมการที่ 3.21)

$$Buswithinhours_{h,i,j,p} = BusFunc_{h,i,j,p} \times FS_{j,i,p-h}; \quad (3.21)$$

$$\forall h \in H, \forall (i,j) \in ROUTES, \forall p \in P \text{ diff } 1..(h-1);$$

ข้อจำกัดที่ 11 จำนวนรถที่พร้อมให้บริการจากสถานี  $i$  ไปสถานี  $j$  ในช่วงเวลา  $p$  ในชั่วโมงที่  $h$  ในกรณีที่  $p < h$  (ช่วงเวลาที่ต้องการตรวจสอบมีค่าน้อยกว่าชั่วโมงให้บริการ) มีค่าเท่ากับ 0 (ดังแสดงในสมการที่ 3.22)

$$BusinHour_{h,i,j,p} = 0; \forall h \in H, \forall (i,j) \in ROUTES, \forall p \in 1..(h-1); \quad (3.22)$$

จำนวนรถที่เข้าและพร้อมให้บริการในชั่วโมงแรก เท่ากับ จำนวนรถที่เข้าและพร้อมให้บริการภายในชั่วโมงแรก (ดังแสดงในสมการที่ 3.23)

$$BusinHour_{1,i,j,p} = BuswithinHour_{1,i,j,p}; \quad (3.23)$$

$$\forall (i,j) \in ROUTES, \forall p \in P \text{ diff } 1..(h-1)$$

ในชั่วโมงอื่น ๆ สามารถหาค่าได้จากจำนวนรถที่เข้าภายในชั่วโมงปัจจุบัน ลบ จำนวนรถที่เข้าภายในชั่วโมงก่อนหน้า 1 ชั่วโมง (ดังแสดงในสมการที่ 3.24)

$$BusinHour_{h,i,j,p} = BuswithinHour_{h,i,j,p} - BuswithinHour_{(h-1),i,j,(p-1)}; \quad (3.24)$$

$$\forall h \in 2..h, \forall (i,j) \in ROUTES, \forall p \in 2..P;$$

ข้อจำกัดที่ 12 Total Buses in Hours หรือผลรวมของจำนวนรถที่เข้ามาในสถานี  $i$  ในช่วงเวลา  $p$  สามารถหาค่าได้จากผลรวมของรถที่เข้ามาถึงในสถานี  $i$  ในช่วงเวลา  $p$  ที่ออกให้บริการจากทุกสถานี  $j$  ในทุกชั่วโมง  $h$  (ดังแสดงในสมการที่ 3.25)

$$TBIH_{i,p} = \sum_{h \in H} \sum_{j \in DEPOTS} BusinHour_{h,i,j,p}; \forall i \in DEPOTS, \forall p \in P; \quad (3.25)$$

2. ข้อจำกัดกระบวนการทำซ้ำ (Interpolation constraint)

ข้อจำกัดที่ 13 จำนวนรถคงเหลือหลังจากให้บริการจากสถานี  $i$  ไปสถานี  $j$  ในช่วงเวลาเริ่มต้น ( $p=1$ ) มีค่าเท่ากับ 0 (ดังแสดงในสมการที่ 3.26)

$$Terminal_{i,j,1} = 0; \forall (i,j) \in ROUTES; \quad (3.26)$$

ผลรวมของจำนวนรถคงเหลือจากการให้บริการในเส้นทาง  $i$  ในช่วงเวลา  $p$  สามารถหาค่าได้จากผลรวมจำนวนรถคงเหลือหลังจากให้บริการในเส้นทาง  $i$  ไปยังเส้นทาง  $j$  ต่าง ๆ ในช่วงเวลา  $p$  เดียวกัน (ดังแสดงในสมการที่ 3.27)

$$TotalTerminal_{i,p} = \sum_{j \in DEPOTS} Terminal_{i,j,p}; \forall i \in DEPOTS, \forall p \in P; \quad (3.27)$$

ข้อจำกัดที่ 14 ผลรวมของความถี่ในการให้บริการจากสถานี  $i$  ในช่วงเวลา  $p$  สามารถหาค่าได้จากผลรวมความถี่ในการให้บริการจากสถานี  $i$  ไปยังสถานี  $j$  ต่าง ๆ ในช่วงเวลา  $p$  เดียวกัน (ดังแสดงในสมการที่ 3.28)

$$TFS_{i,p} = \sum_{j \in DEPOTS} FS_{i,j,p}; \forall i \in DEPOTS, \forall p \in P; \quad (3.28)$$

ข้อจำกัดที่ 15 ผลรวมของจำนวนรถที่ให้บริการจากสถานีที่  $i$  ในช่วงเวลาเริ่มต้น ( $p=1$ ) มีค่าเท่ากับ ผลรวมของรถที่ให้บริการในสถานีที่  $i$  ในช่วงเวลาเริ่มต้น ( $p=1$ ) ลบรถที่เข้ามาในสถานี  $i$  ในช่วงเวลาเริ่มต้น ( $p=1$ ) (ดังแสดงในสมการที่ 3.29)

$$TotalDepot_{i,1} = TFS_{i,1} - TBIH_{i,1}; \forall i \in DEPOTS; \quad (3.29)$$

ผลรวมของจำนวนรถที่ออกจากสถานี  $i$  ในช่วงเวลา  $p$  สามารถหาค่าได้จากผลรวมของรถที่ออกจากสถานี  $i$  ไปสถานี  $j$  ใด ๆ ในช่วงเวลา  $p$  เดียวกัน (ดังแสดงในสมการที่ 3.30)

$$TotalDepot_{i,p} = \sum_{j \in DEPOTS} Depot_{i,j,p}; \forall i \in DEPOTS, \forall p \in P; \quad (3.30)$$

ข้อจำกัดที่ 16 ผลรวมความถี่ในการให้บริการจากสถานี  $i$  ไปสถานีใด ๆ ในช่วงเวลา  $p$  ต้องไม่เกิน ผลรวมของรถที่มีเหลืออยู่ในสถานี  $i$  ในช่วงเวลาก่อนหน้านั้น 1 ชั่วโมง บวกจำนวนรถที่เข้ามาที่สถานี  $i$  ในช่วงเวลา  $p$  บวกผลรวมจากจำนวนรถที่ให้บริการจากสถานี  $i$  ในช่วงเวลา  $p$  (ดังแสดงในสมการที่ 3.31 และตารางที่ 3.11)

$$TFS_{i,p} \leq TotalTerminal_{i,(p-1)} + TBIH_{i,p} + TotalDepot_{i,p}; \quad \forall i \in DEPOTS, \forall p \in 2..np; \quad (3.31)$$

ตารางที่ 3.11 วิธีการคำนวณจำนวนรถที่สามารถให้บริการได้ในชั่วโมงต่าง ๆ

|   | Time        | Frequency<br>Service | Bus with<br>in Hour | Bus with<br>in Hour 2 | Terminal                  | Depot              |
|---|-------------|----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------|
| 1 | 06:00-07:00 |                      |                     |                       | $TotalTerminal_{i,(p-1)}$ |                    |
| 2 | 07:00-08:00 | $TFS_{i,p}$          |                     | $TBIH_{i,p}$          |                           | $TotalDepot_{i,p}$ |

ข้อจำกัดที่ 17 จำนวนรถคงเหลือในสถานี  $i$  ในช่วงเวลา  $p$  สามารถหาค่าได้จากผลรวมจำนวนรถที่มีเหลืออยู่ในสถานี  $i$  ในช่วงเวลาก่อนหน้านั้น 1 ชั่วโมง บวกจำนวนรถที่เข้ามาที่สถานี  $i$  ในช่วงเวลา  $p$  บวกผลรวมจากจำนวนรถที่ให้บริการจากสถานี  $i$  ในช่วงเวลา  $p$  ลบผลรวมความถี่ในการให้บริการจากสถานี  $i$  ไปสถานีใด ๆ ในช่วงเวลา  $p$  (ดังแสดงในสมการที่ 3.32 และตารางที่ 3.12)

$$TotalTerminal_{i,p} = TotalTerminal_{i,p-1} + TBIH_{i,p} + TotalDepot_{i,p} - TFS_{i,p};$$

$$\forall i \in DEPOTS, \forall p \in 2..np; \quad (3.32)$$

ตารางที่ 3.12 วิธีการคำนวณจำนวนรถคงเหลือหลังจากให้บริการ

|   | Time        | Frequency<br>Service | Bus with<br>in Hour 1 | Bus with<br>in Hour 2 | Terminal                  | Depot              |
|---|-------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------|
| 1 | 06:00-07:00 |                      |                       |                       | $TotalTerminal_{i,(p-1)}$ |                    |
| 2 | 07:00-08:00 | $TFS_{i,p}$          |                       | $TBIH_{i,p}$          | $TotalTerminal_{i,p}$     | $TotalDepot_{i,p}$ |

## บทที่ 4

### ผลของการศึกษาวิจัย

ในบทนี้นำเสนอผลการศึกษาพัฒนาแบบจำลองการจัดเส้นทางและการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ ซึ่งประกอบไปด้วย 2 แบบจำลอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ** แบบจำลองนี้ใช้ออกแบบเส้นทางให้บริการรถโดยสารสาธารณะ โดยแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ให้บริการครอบคลุมแหล่งดึงดูดการเดินทางในกลุ่มสถานศึกษา โรงพยาบาล สถานที่ทำงาน ท่ารถสองแถวรับจ้างประจำทางและไม่ประจำทางภายในจังหวัดเชียงราย (บุญส่ง สัตโยภาส และคณะ, 2547) โดยได้ทำการประมวลผลแบบจำลอง 2 กรณี ดังต่อไปนี้ กรณีที่ 1 ประมวลผลแบบจำลองเพื่อปรับปรุงเส้นทางการให้บริการรถโดยสารสาธารณะในปัจจุบัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงน้อยที่สุด และลดพื้นที่ให้บริการที่ซ้อนทับกัน 2 เส้นทาง คือ เส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย และกรณีที่ 2 ประมวลผลแบบจำลองเพื่อออกแบบเส้นทางใหม่เพิ่มเติม เพื่อให้ครอบคลุมแหล่งดึงดูดการเดินทางในเขตผังเมืองรวมเมืองเชียงรายในสถานที่ยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการให้บริการน้อยที่สุด

**แบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ** แสดงผลลัพธ์จากแบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้จำนวนยานพาหนะน้อยที่สุด โดยแยกเป็น 2 กรณี ดังนี้ กรณีที่ 1 พิจารณาการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ ในกรณีที่มีการหมุนเวียนรถภายในเส้นทาง และกรณีที่ 2 พิจารณาการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ ในกรณีที่มีการหมุนเวียนรถระหว่างเส้นทาง โดยทั้ง 2 กรณีประมวลผลเพื่อหาจำนวนรถที่น้อยที่สุดที่จำเป็นต้องใช้เพื่อให้บริการ โดยทำการเปรียบเทียบตารางการให้บริการที่กำหนดขึ้นเชิงนโยบาย กับตารางการให้บริการที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ (เพิ่ม) การให้บริการ

โดยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถอธิบายรายละเอียด ผลการศึกษาวิจัยในส่วนการจัดเส้นทางและจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ

อธิบายผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลองเพื่อทำการออกแบบและปรับปรุงเส้นทางให้บริการ 3 เส้นทาง คือ เส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม) -มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย และ เส้นทางที่ออกแบบใหม่เพิ่มเติม คือเส้นทางสถานีขนส่ง(ใหม่)-สถานีขนส่ง(เดิม)-ท่าอากาศยานจังหวัดเชียงราย เพื่อเป็นจุดเชื่อมต่อการเดินทางภายในจังหวัด โดยมีเส้นทางที่ให้บริการปัจจุบัน คือ เส้นทางรอบเวียง เป็นโครงข่ายที่ใช้เชื่อมโยงการให้บริการรถโดยสารสาธารณะทั้ง 3 เส้นทางเข้าด้วยกัน (ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 – 4.2)

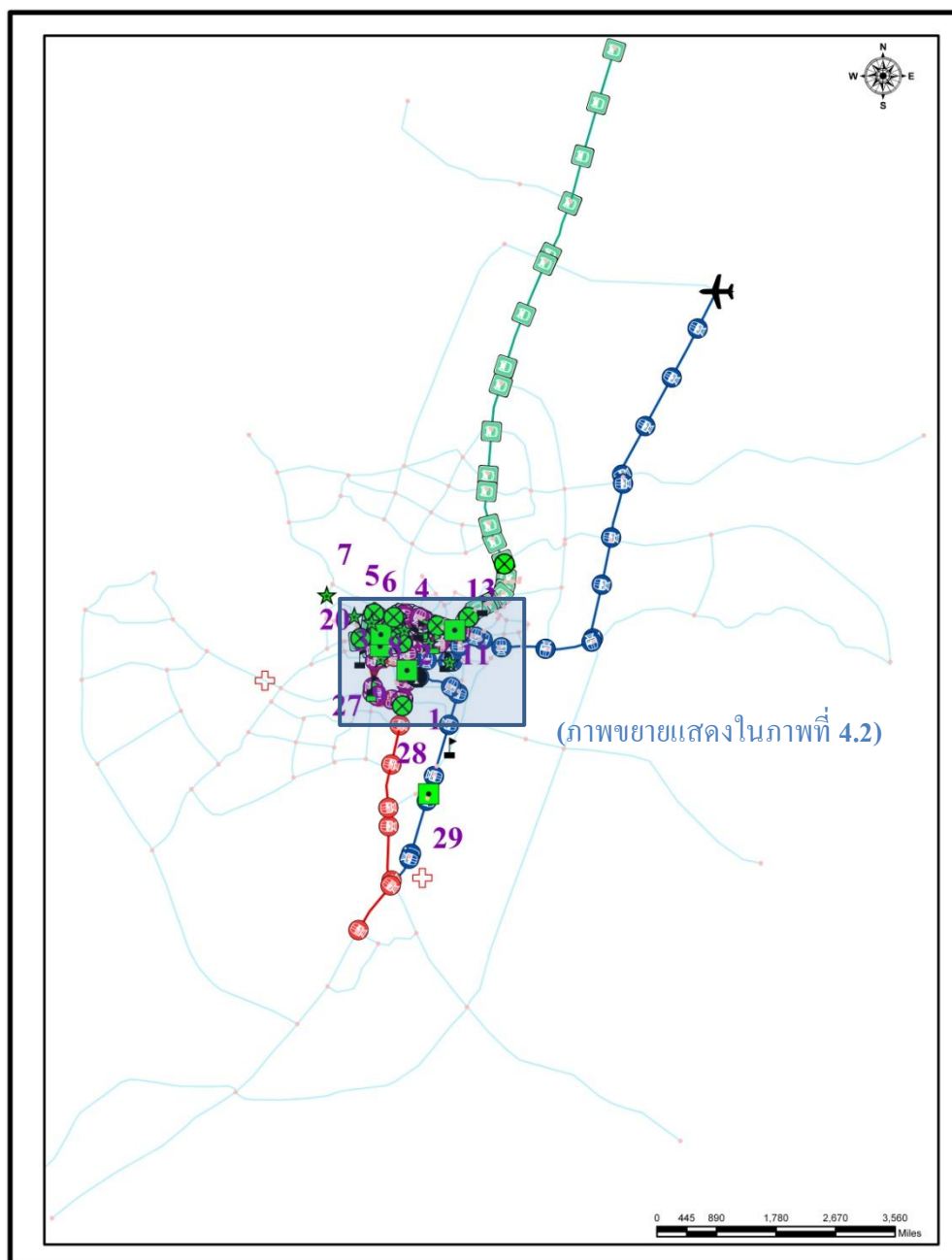
ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์การออกแบบและปรับปรุงเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะในเขตพื้นที่  
ผังเมืองรวมเมืองเชียงราย

| ชื่อเส้นทาง ( $Route_{i,j,r}$ ) |                                | เวลาในการเดินทาง |                     | สี        |
|---------------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------|-----------|
| ข้อมูลเส้นทาง ( $i, j$ )        |                                | เส้นทาง          | ( $TravT_{i,j,p}$ ) |           |
| จาก ( $i$ )                     | ไป ( $j$ )                     | ( $r$ )          | (ไป/กลับ นาที)      | สัญลักษณ์ |
| เส้นทางรอบเวียง <sup>1</sup>    |                                | 1                | (14,14)             | สีม่วง    |
| สถานีขนส่ง (เดิม) -             | มหาวิทยาลัยราชภัฏ <sup>2</sup> | 2                | (25,26)             | สีเขียว   |
| สถานีขนส่ง (เดิม) -             | บ้านสันทราย <sup>2</sup>       | 3                | (15,15)             | สีแดง     |
| สถานีขนส่ง (ใหม่) -             | ท่าอากาศยาน จ.เชียงราย         | 4                | (20,20)             | สีน้ำเงิน |

หมายเหตุ. <sup>1</sup> เส้นทางให้บริการในปัจจุบัน โดยมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่สถานีขนส่ง (เดิม)

<sup>2</sup> ผลลัพธ์จากแบบจำลองการปรับปรุงเส้นทางให้บริการ

<sup>3</sup> ผลลัพธ์จากแบบจำลองการออกแบบเส้นทางใหม่ (เพิ่มเติม)



ภาพที่ 4.1 ผลลัพธ์การออกแบบและปรับปรุง เส้นทางการเดินทางโดยสาธารณะ  
ในเขตพื้นที่ผังเมืองรวมเมืองเชียงราย



ภาพที่ 4.2 ผลลัพธ์การออกแบบและปรับปรุงเส้นทางการเดินรถโดยสารสาธารณะในเขตพื้นที่ฝั่งเมืองรวมเมืองเชียงราย (ภาพขยาย)

#### 4.1.1 กรณีปรับปรุงเส้นทางให้บริการในปัจจุบัน

การประมวลผลแบบจำลองการจัดเส้นทางขนส่งสาธารณะ เพื่อปรับปรุงเส้นทางให้บริการเดินรถโดยสารสาธารณะจังหวัดเชียงราย 2 เส้นทาง คือ เส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) - มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และเส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) - บ้านสันทราย โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการให้บริการ และลดพื้นที่การให้บริการที่ทับเส้นทางในเขตพื้นที่ตำบลรอบเวียงอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย โดยกำหนดให้ผ่านจุดดึงดูดการเดินทางเหมือนกับที่ให้บริการในปัจจุบัน เพื่อไม่ให้ส่งผลต่อการให้บริการกับผู้โดยสารที่ใช้บริการในปัจจุบัน

ผลลัพธ์ของการประมวลผลแบบจำลอง พบว่าสามารถลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายหลัก คิดเป็นร้อยละ 80 ของค่าใช้จ่ายในการให้บริการทั้งหมด (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2548) ของการให้บริการสองเส้นทางได้ 98.0 มิลลิตรต่อรอบการให้บริการหรือคิดเป็นร้อยละ 3.3 (ดังแสดงในตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์การปรับปรุงเส้นทางให้บริการใน เส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม)–มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และเส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม)–บ้านสันทราย

|          | ระยะเวลา<br>(นาที) | ระยะทาง<br>(เมตร) | การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง<br>(มิลลิลิตร) |
|----------|--------------------|-------------------|----------------------------------------------|
| ปัจจุบัน | 41.4               | 20,982.7          | 2,935.7                                      |
| แบบจำลอง | 39.4               | 20,292.4          | 2,837.7                                      |
| ผลต่าง   | -2.0               | -690.3            | -98.0                                        |
| ร้อยละ   | -4.8               | -3.3              | -3.3                                         |

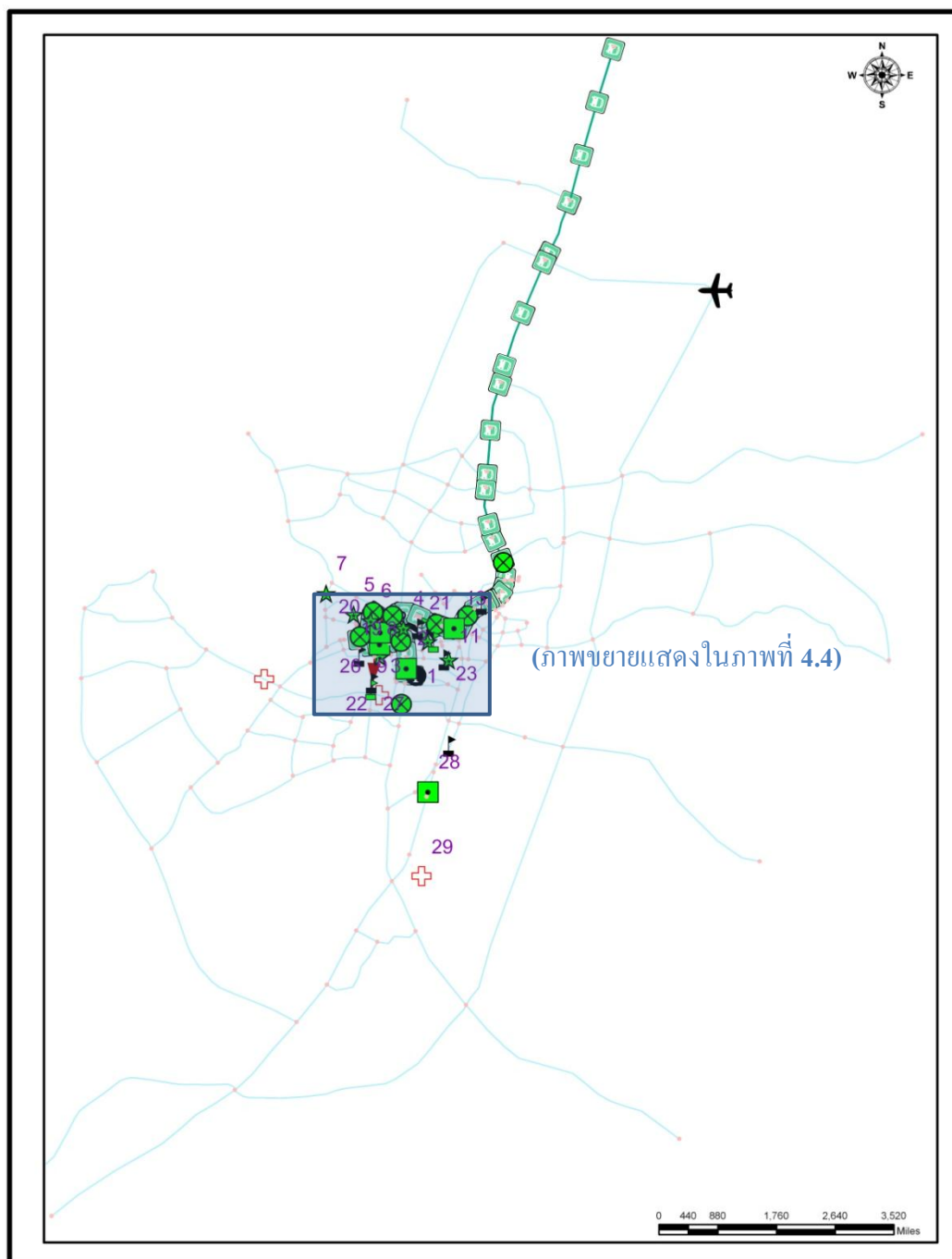
เมื่อพิจารณาถึงรายละเอียดการปรับปรุงเส้นทางให้บริการทั้ง 2 เส้นทาง คือ เส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) - มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และเส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) – บ้านสันทราย มีรายละเอียดที่น่าสนใจในแต่ละเส้นทางดังต่อไปนี้

**เส้นทางที่ 1 เส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) – มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย** พบว่าเมื่อทำการปรับปรุงเส้นทางโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้ว พบว่าการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น 5.7 มิลลิตรต่อรอบการให้บริการ หรือคิดเป็นร้อยละ 0.3 อันเนื่องมาจากการให้บริการผ่านแหล่ง

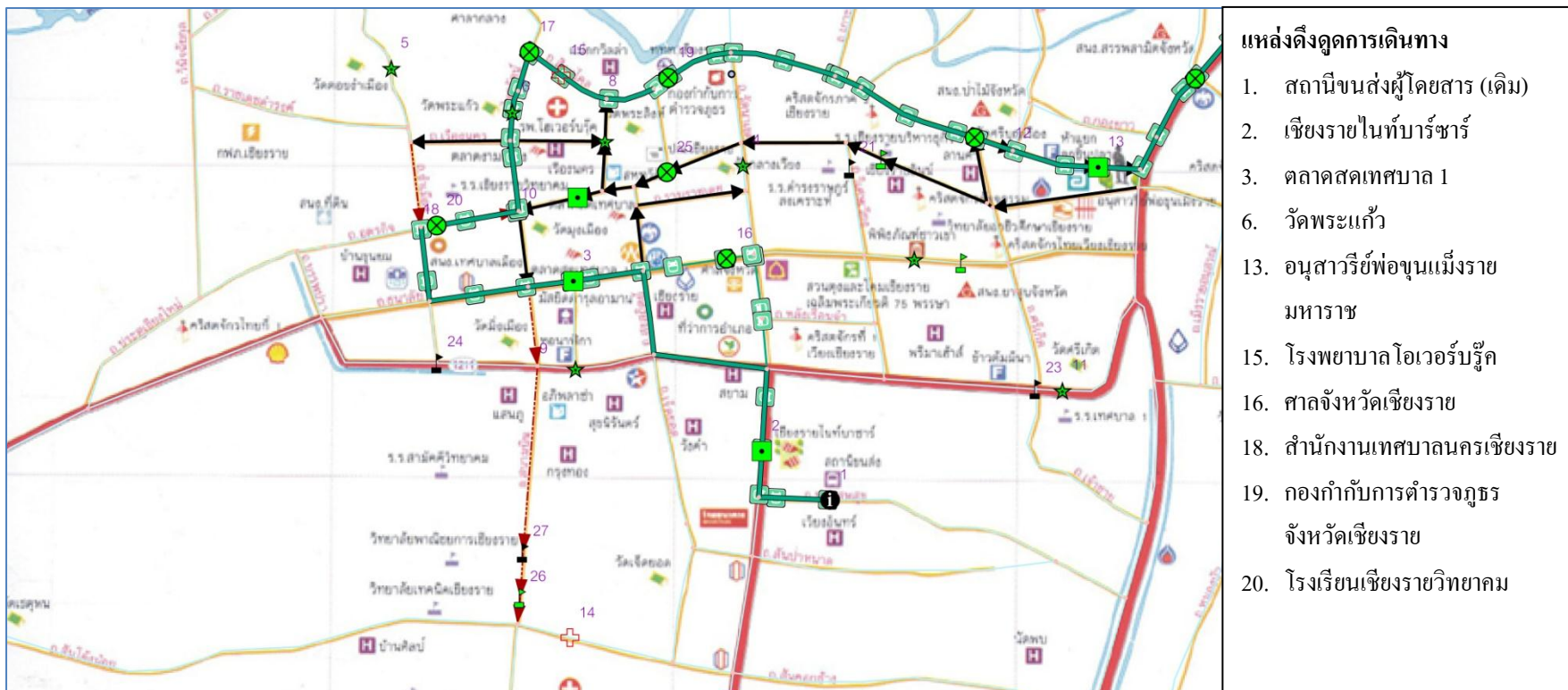
ดึงดูดการเดินทางเพิ่มขึ้นหนึ่งจุด คือ ศาลและที่ว่าการอำเภอเมืองเชียงราย (ดังแสดงในภาพที่ 4.3-4.4 ในหมายเลข 16) แต่เมื่อศึกษาถึงเวลาในการให้บริการต่อรอบพบว่าเวลาในการให้บริการลดลง 0.1 นาที (ไม่เปลี่ยนแปลง) โดยเส้นทางการให้บริการผ่านจุดดึงดูดการจราจรที่สำคัญ ดังต่อไปนี้ เริ่มต้นที่สถานีขนส่ง (เดิม) (สัญลักษณ์ i หมายเลข 1) ในที่บราซาร์ (2) ที่ว่าการอำเภอเมืองเชียงราย ศาลจังหวัดเชียงราย (16) ตลาดสดเทศบาล 1 (3) สำนักงานเทศบาลเมืองเชียงราย (18) โรงเรียนเชียงรายวิทยาคม (20) วัดพระแก้ว (6) โรงพยาบาลโอเวอร์บรู๊ค (15) สำนักงานป่าไม้จังหวัดอนุสาวรีย์พ่อขุนแม้งราย (13) สำนักงานศุลกากร โรงเรียนสันติ สำนักงานทางหลวงจังหวัด ตลาดบ้านคู้ และสิ้นสุดที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย (ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.3-4.4)

**ตารางที่ 4.3** เปรียบเทียบเส้นทางการให้บริการในปัจจุบันกับเส้นทางที่ออกแบบโดย  
แบบจำลองในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

|          | ระยะเวลา<br>(นาที) | ระยะทาง<br>(เมตร) | การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง<br>(มิลลิลิตร) |
|----------|--------------------|-------------------|----------------------------------------------|
| ปัจจุบัน | 25.1               | 13,694.2          | 1,902.8                                      |
| แบบจำลอง | 25.0               | 13,756.2          | 1,908.5                                      |
| ผลต่าง   | -0.1               | 62.0              | 5.7                                          |
| ร้อยละ   | -0.4               | 0.5               | 0.3                                          |



ภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบเส้นทางการให้บริการในปัจจุบันกับเส้นทางที่ออกแบบโดย  
แบบจำลองในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย



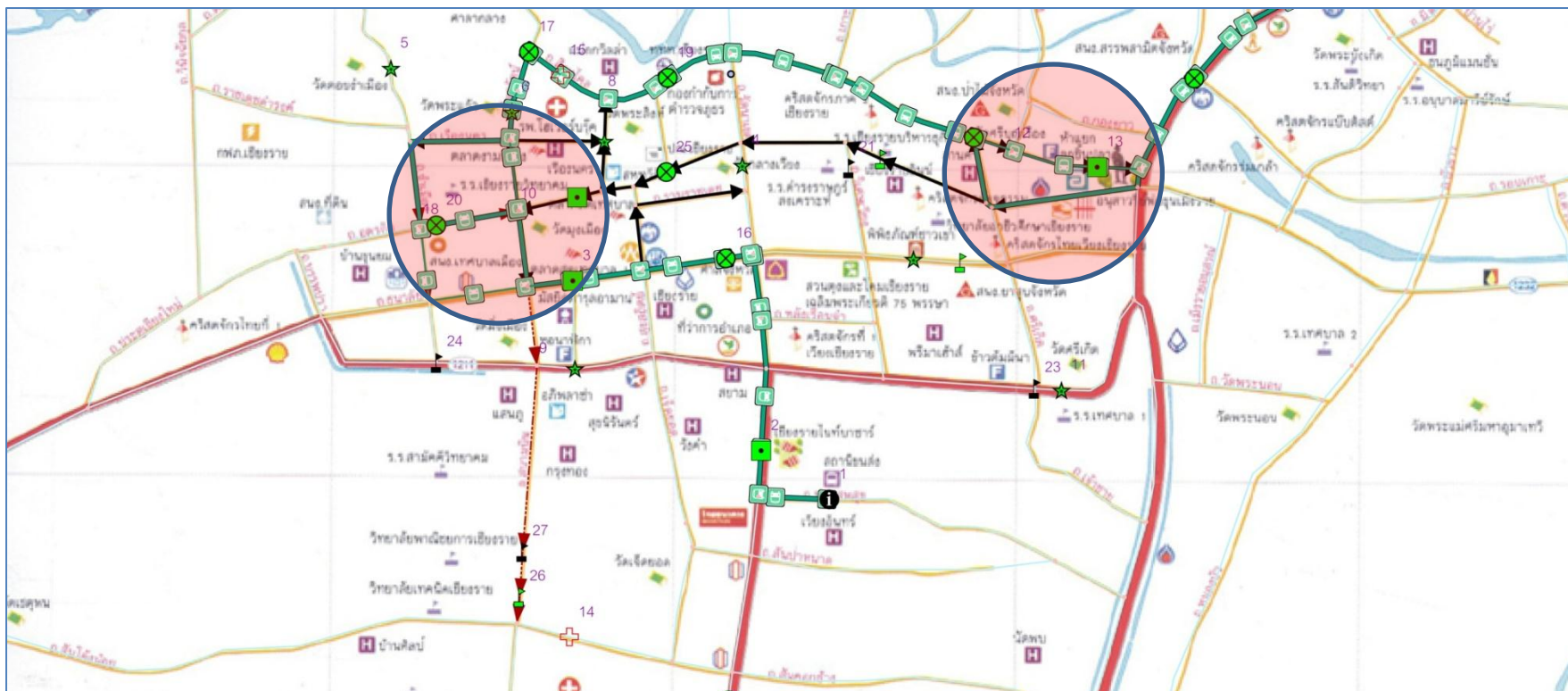
ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบเส้นทางการให้บริการในปัจจุบันกับเส้นทางที่ออกแบบโดยแบบจำลอง  
ในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)–มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย (ภาพขยาย)

เมื่อได้คำตอบของแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) – มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ผู้วิจัยได้ทำการประมวลผลแบบจำลองอีกครั้งหนึ่งเพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงเส้นทางให้บริการในทิศทางตรงข้าม (ขากลับ) คือจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย - สถานีขนส่ง (เดิม) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเส้นทางให้บริการในพื้นที่ตำบลรอบเวียงอันเนื่องมาจากทิศทางการเดินรถ (ดังแสดงในภาพที่ 4.5 ในรูปวงกลม) โดยมีรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงเส้นทางให้บริการ ดังนี้ ระยะเวลาในการให้บริการเพิ่มขึ้น 1.0 นาที (คิดเป็นร้อยละ 4) และระยะทางในการให้บริการเพิ่มขึ้น 181 เมตร (คิดเป็นร้อยละ 1.3) และเมื่อพิจารณาถึงรายละเอียดของสถานที่ให้บริการ พบว่าสามารถให้บริการผ่านแหล่งดึงดูดการเดินทางเหมือนกับที่ให้บริการในทิศทางขาไป (ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.5)

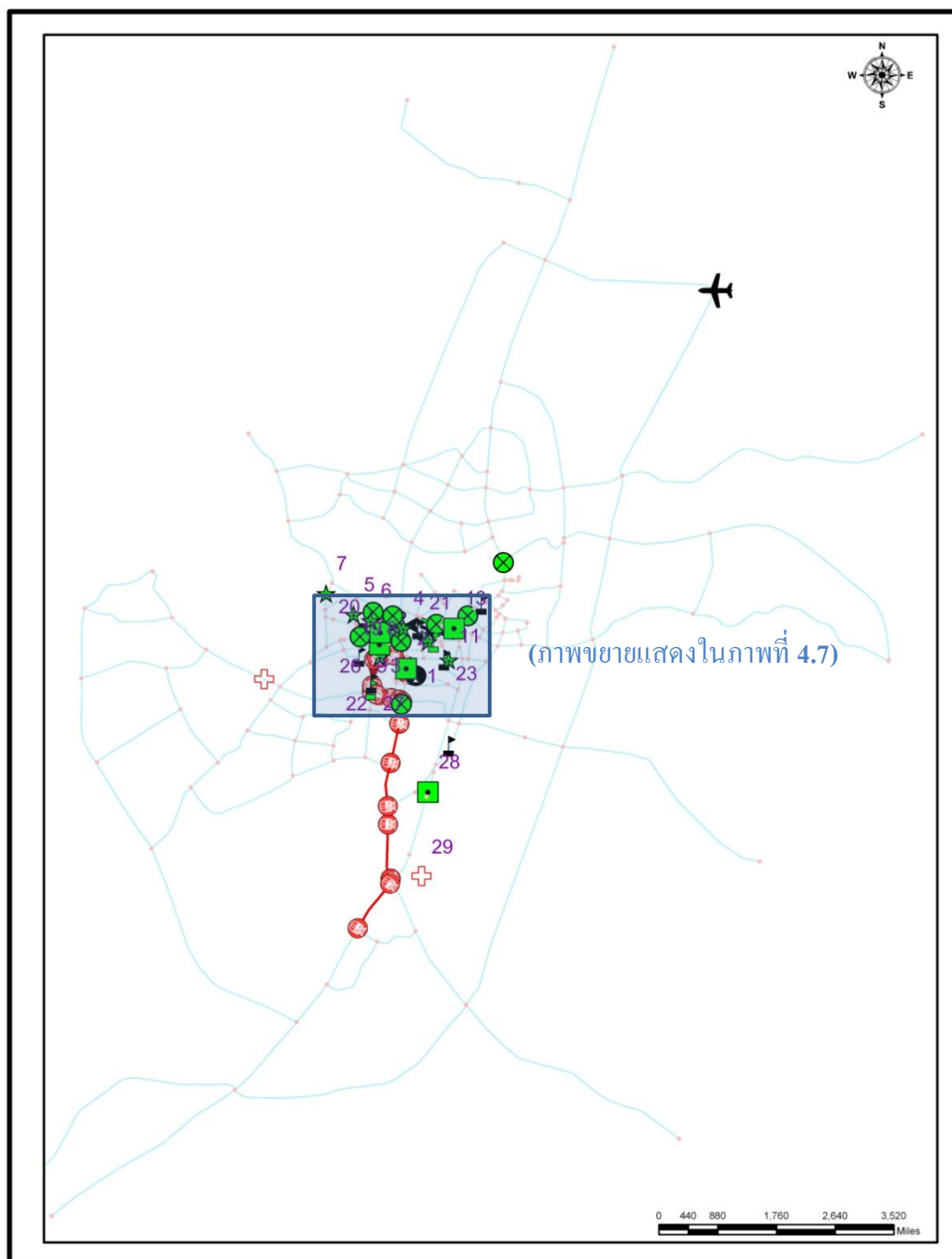
**ตารางที่ 4.4** เปรียบเทียบเส้นทางให้บริการที่ออกแบบโดยแบบจำลองในเส้นทาง สถานีขนส่ง(เดิม)– มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายใน 2 ทิศทางไปและกลับ

|        | ระยะเวลา<br>(นาที) | ระยะทาง<br>(เมตร) | การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง<br>(มิลลิลิตร) |
|--------|--------------------|-------------------|----------------------------------------------|
| ไป     | 25.0               | 13,756.2          | 1,908.5                                      |
| กลับ   | 26.0               | 13,937.2          | 1,952.7                                      |
| ผลต่าง | 1.0                | 181.0             | 44.2                                         |
| ร้อยละ | 4.0                | 1.3               | 2.3                                          |

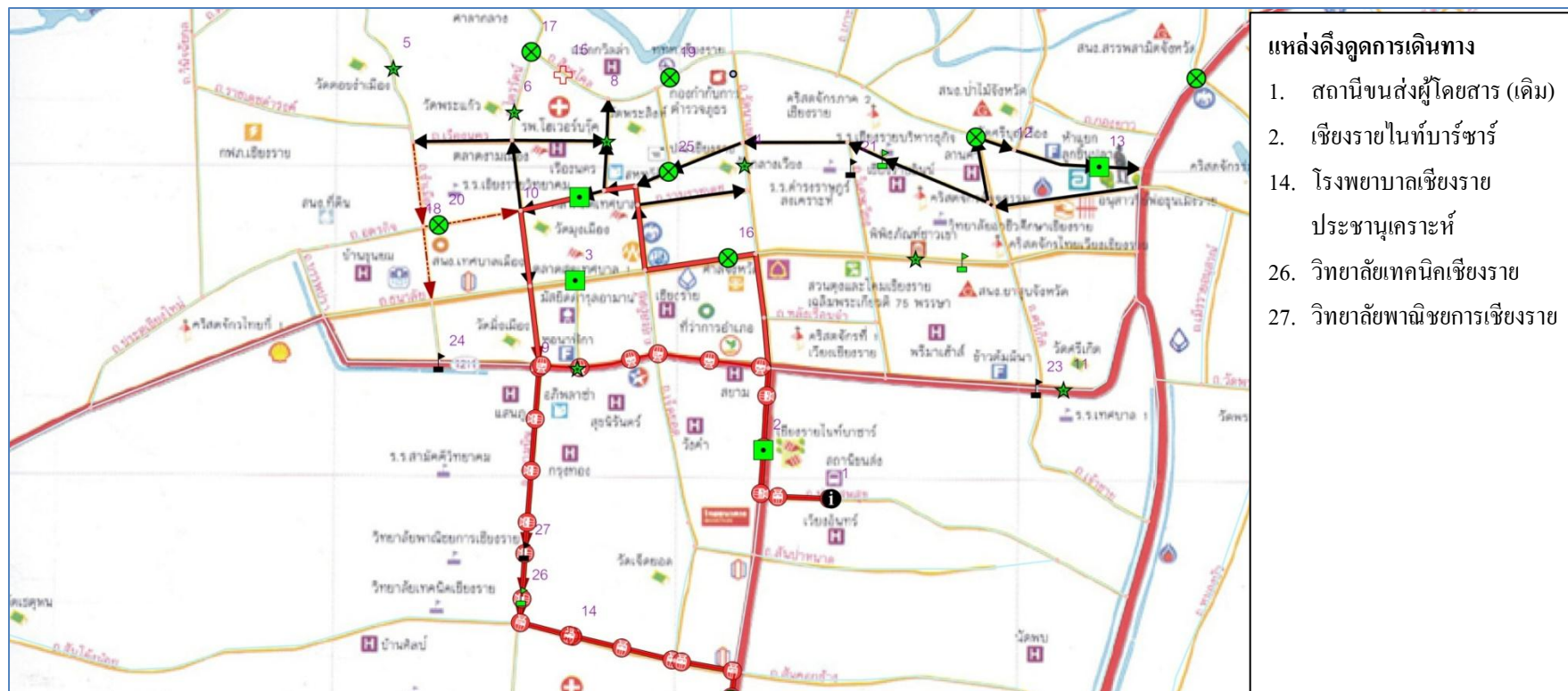
**เส้นทางที่ 2** เส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)–บ้านสันทราย พบว่าเมื่อทำการปรับปรุงเส้นทางโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้ว พบว่าสามารถลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้ 103.7 มิลลิลิตรต่อการให้บริการ หรือคิดเป็นร้อยละ 10 และสามารถลดเวลาในการให้บริการลงได้ 1.8 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 11.1 โดยเส้นทางให้บริการผ่านจุดดึงดูดการจราจรที่สำคัญ ดังต่อไปนี้ เริ่มต้นที่ สถานีขนส่ง (เดิม) (สัญลักษณ์ i หมายเลข 1) ตลาดไนท์บราซาร์ (2) โรงเรียนพณิชยการเชียงราย (27) วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย (26) โรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคราะห์ (14) ตลาดสดสี่แยกแม่กรณ์ และสิ้นสุดที่สถานีบ้านสันทราย (ดังแสดงในภาพที่ 4.6-4.7 และตารางที่ 4.5)



ภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบเส้นทางการให้บริการที่ออกแบบโดยแบบจำลองในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย  
ใน 2 ทิศทางไปและกลับ (ภาพขยาย)



ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบเส้นทางการให้บริการในปัจจุบันกับเส้นทางที่ออกแบบโดยแบบจำลอง  
ในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย



ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบเส้นทางการให้บริการในปัจจุบันกับเส้นทางที่ออกแบบโดยแบบจำลองในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย (ภาพขยาย)

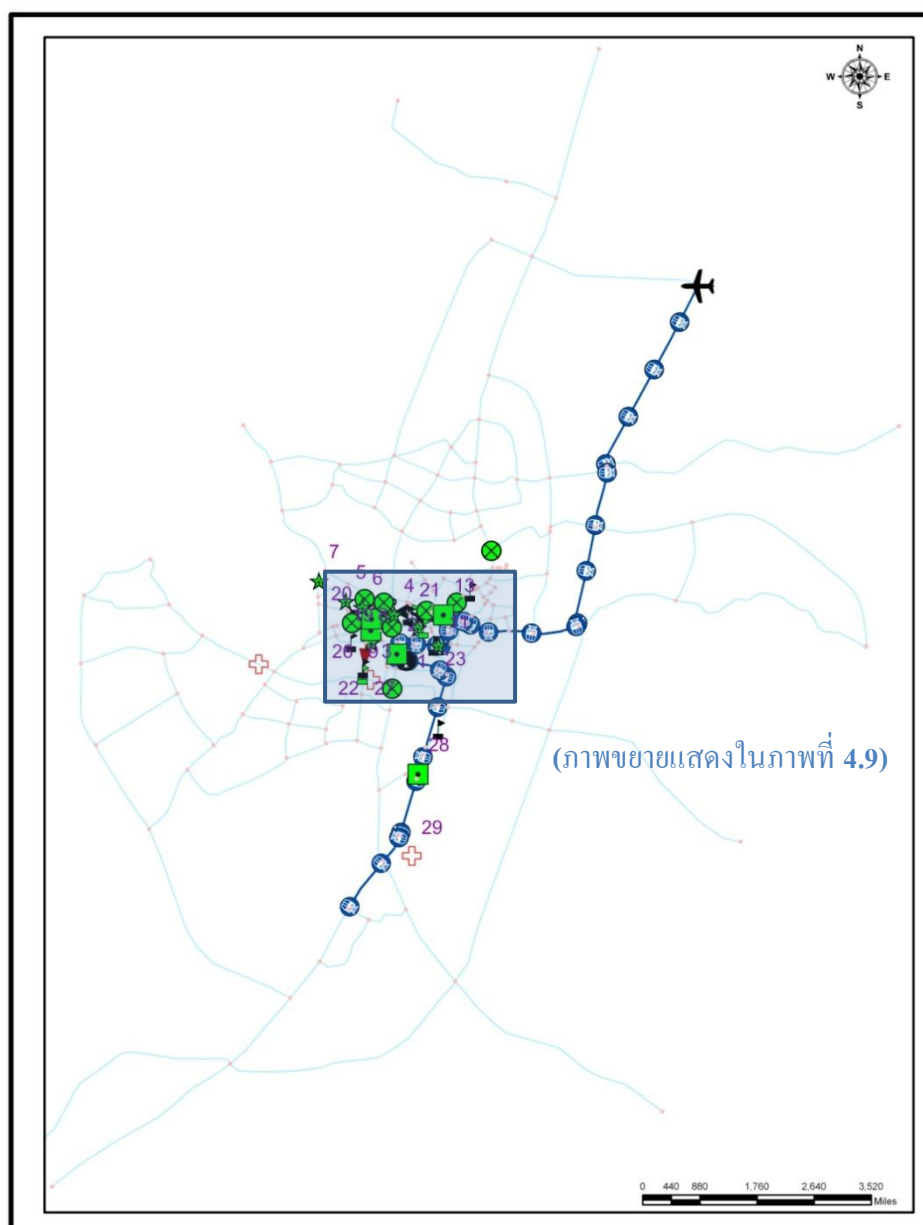
**ตารางที่ 4.5** เปรียบเทียบเส้นทางการให้บริการในปัจจุบันกับเส้นทางที่ออกแบบโดยแบบจำลอง  
ในเส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม)-บ้านสันทราย

|          | ระยะเวลา<br>(นาที) | ระยะทาง<br>(เมตร) | การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง<br>(มิลลิลิตร) |
|----------|--------------------|-------------------|----------------------------------------------|
| ปัจจุบัน | 16.2               | 7,288.5           | 1,032.9                                      |
| แบบจำลอง | 14.4               | 6,536.1           | 929.2                                        |
| ผลต่าง   | -1.8               | -752.4            | -103.7                                       |
| ร้อยละ   | -11.1              | -10.3             | -10.0                                        |

เมื่อได้คำตอบของแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) – บ้านสันทราย ผู้วิจัยได้ทำการประมวลผลแบบจำลองอีกครั้งหนึ่งเพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงเส้นทางการให้บริการในขากลับ คือจากบ้านสันทราย-สถานีขนส่ง (เดิม) พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในเรื่องเส้นทางและตำแหน่งของสถานีที่ให้บริการในสองทิศทาง

#### 4.1.2 กรณีออกแบบเส้นทางใหม่เพิ่มเติม

การประมวลผลแบบจำลองเพื่อออกแบบเส้นทางใหม่เพื่อเชื่อมต่อการให้บริการจากสถานีขนส่ง (ใหม่)-สถานีขนส่ง (เดิม)-ท่าอากาศยานจังหวัดเชียงราย โดยกำหนดให้ผ่านท่ารถเล็ก (รถรับจ้างไม่ประจำทาง) และแหล่งดึงดูดการเดินทางที่สำคัญ (ที่เหลือ) ในจังหวัดเชียงรายที่ยังไม่มีเส้นทางรถโดยสารสาธารณะให้บริการ เมื่อทำการประมวลผลแบบจำลองการจัดเส้นทางรถโดยสารสาธารณะ พบว่า สามารถให้บริการผ่านจุดดึงดูดการเดินทางตามที่กำหนดได้ทั้งหมด โดยใช้เวลาในการให้บริการ 19.5 นาทีต่อรอบการให้บริการ มีระยะทางในการให้บริการ 14.8 กิโลเมตร โดยมีการสิ้นเปลืองใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1.9 ลิตร และมีรายละเอียดเส้นทางการให้บริการผ่านจุดดึงดูดการจราจรที่สำคัญ ดังนี้ เริ่มต้นที่สถานีขนส่ง (ใหม่) โรงแรมลิ้มเตี๋ยดัก ทางเข้าโรงพยาบาลเกษมราษฎร์ศรีบุรินทร์ (ท่ารถสองแถวน้อย) (29) บิ๊กซี ซูเปอร์เซ็นเตอร์ (ท่ารถสองแถวน้อย) (28) สถานีขนส่ง (เดิม) (สัญลักษณ์ i หมายเลข 1) ตลาดในท่งบราซาร์ (2) โรงเรียนศรีเกิด (23) วัดศรีเกิด (11) อนุสาวรีย์พ่อขุนแม้งราย (13) โรงเรียนเทศบาล 6 และสิ้นสุดที่ท่าอากาศยานจังหวัดเชียงราย (ดังแสดงในภาพที่ 4.8-4.9)



ภาพที่ 4.8 เส้นทางให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(ใหม่)–  
สถานีขนส่ง(เดิม)–ท่าอากาศยานจังหวัดเชียงราย



ภาพที่ 4.9 เส้นทางรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(ใหม่)-สถานีขนส่ง(เดิม)-ท่าอากาศยานจังหวัดเชียงราย (ภาพขยาย)

เมื่อทราบถึงเส้นทางการให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง (ใหม่) - สถานีขนส่ง (เดิม) - ท่าอากาศยานจังหวัดเชียงรายแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการประมวลผลแบบจำลองอีกครั้งเพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงเส้นทางในทิศทางขากลับ คือ จากท่าอากาศยานจังหวัดเชียงราย - สถานีขนส่ง(ใหม่) พบว่าไม่เปลี่ยนแปลงในเรื่องของระยะทางและระยะเวลาในการให้บริการ

## 4.2 แบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ

แบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะที่พัฒนาขึ้นมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้รถโดยสารสาธารณะให้น้อยที่สุดและให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยแยกพิจารณา 2 กรณี คือ กรณีที่มีการหมุนเวียนรถภายในเส้นทาง และกรณีที่มีการหมุนเวียนรถระหว่างเส้นทาง โดยทำการประมวลผลแบบจำลองใน 2 เส้นทาง คือ เส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) - มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และสถานีขนส่ง (เดิม) - บ้านสันทราย ซึ่งผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลองจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะทั้ง 2 กรณี สามารถอธิบายรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์แบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ

| ชื่อเส้นทาง ( $Route_{i,j,r}$ )                    |                    | เวลาในการเดินทาง<br>( $TravT_{i,j,p}$ )<br>(ไป/กลับ) นาที | จำนวนรถที่ต้องใช้<br>เพื่อให้บริการ (คัน) |                |
|----------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------|
| ข้อมูลเส้นทาง ( $i,j$ )                            | เส้นทาง<br>( $r$ ) |                                                           | กรณี 1                                    | กรณี 2         |
| จาก ( $i$ )                                        | ถึง ( $j$ )        |                                                           |                                           |                |
| <b>4.2.1 กรณีที่มีการหมุนเวียนรถภายในเส้นทาง</b>   |                    |                                                           |                                           |                |
| สถานีขนส่ง(เดิม)-                                  | มหาวิทยาลัยราชภัฏ  | 1                                                         | (25/26)                                   | 5 คัน    4 คัน |
| สถานีขนส่ง(เดิม)-                                  | บ้านสันทราย        | 2                                                         | (15/15)                                   | 3 คัน    2 คัน |
| <b>4.2.2 กรณีที่มีการหมุนเวียนรถระหว่างเส้นทาง</b> |                    |                                                           | 8 คัน                                     | 6 คัน          |

**4.2.1 กรณีที่มีการหมุนเวียนรถภายในเส้นทาง** ทำการประมวลผลเป็น 2 กรณีสามารถอธิบายรายละเอียดทั้ง 2 กรณี ได้ดังนี้ กรณีที่ 1 จัดตารางการให้บริการรถโดยสารสาธารณะตามตารางเชิงนโยบายที่กำหนดขึ้น (ดังแสดงในตารางที่ 3.7) โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการ เพื่อหาจำนวนรถโดยสารสาธารณะที่น้อยที่สุดที่จำเป็นต้องใช้เพื่อให้บริการในแต่ละเส้นทาง กรณีที่ 2 จัดตารางการให้บริการรถโดยสารสาธารณะตามที่กำหนด โดยอนุญาตให้มีการเปลี่ยนแปลง (เพิ่ม) ความถี่ให้บริการ เพื่อเพิ่มการหมุนเวียนรถโดยสารสาธารณะภายในเส้นทางให้เพิ่มมากขึ้น อันอาจเป็นการลดจำนวนรถโดยสารสาธารณะที่จำเป็นต้องใช้เพื่อให้บริการ และเพื่อลดเวลาที่สูญเสียไปจากการที่ไม่ได้ให้บริการ โดยสามารถอธิบายรายละเอียด ในแต่ละเส้นทางได้ดังต่อไปนี้

**เส้นทางที่ 1 เส้นทางสถานีขนส่งเดิม – มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย** มีรายละเอียดเวลาในการให้บริการ (ไป/กลับ) คือ 25 และ 26 นาที ตามลำดับ เมื่อทำการประมวลผลแบบจำลองจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะสามารถอธิบายการประมวลผลจำแนกเป็น 2 กรณีได้ดังนี้

กรณีที่ 1 จัดตารางการให้บริการรถโดยสารสาธารณะตามตารางเชิงนโยบายที่กำหนดขึ้นพบว่าต้องใช้จำนวนรถในการให้บริการต่ำสุดคือ 5 คัน คือ 4 คันแรกจะให้บริการตั้งแต่ช่วงเช้า และในเวลา 16:45 น. จำเป็นต้องจัดหารถเพิ่มอีกหนึ่งคัน (คันที่ 5) อันเนื่องมาจากรถคันที่ 3 เสร็จสิ้นการให้บริการจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ถึงสถานีขนส่ง (เดิม) และพร้อมให้บริการจากสถานีขนส่ง (เดิม) ในเที่ยวถัดไปในเวลา 16:46 น. แต่ต้องมีรถให้บริการจากสถานีขนส่ง (เดิม) ในช่วงเวลา 16:45 น. ทำให้รถที่เข้า (คันที่ 3) ไม่สามารถให้บริการในช่วงเวลาดังกล่าวได้ จึงจำเป็นต้องจัดหารถเพิ่มเพื่อให้บริการอีก 1 คันเพื่อให้บริการ (ดังแสดงในตารางที่ 4.7) เพราะถ้าไม่เพิ่มจำนวนรถในช่วงเวลาดังกล่าว (ดังแสดงในภาพที่ 4.10 กล้องสีน้ำเงิน) ส่งผลให้ไม่สามารถให้บริการตั้งแต่เวลา 16:45 น. ได้ (ดังแสดงในภาพที่ 4.10 กล้องสีแดง) จากข้อมูลข้างต้นพบว่าถ้าใช้จำนวนยานพาหนะจำนวน 5 คัน และกำหนดให้รถโดยสารคันที่ 5 ให้บริการในตั้งแต่ช่วงเวลา 16:45 น. เป็นต้นไป ไม่คุ้มค่ากับการให้บริการจึงได้จัดตารางการให้บริการโดยกำหนดให้ทั้ง 5 คัน เริ่มต้นให้บริการตั้งแต่ช่วงเช้า โดยสามารถสรุปจำนวนเที่ยวในการให้บริการโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

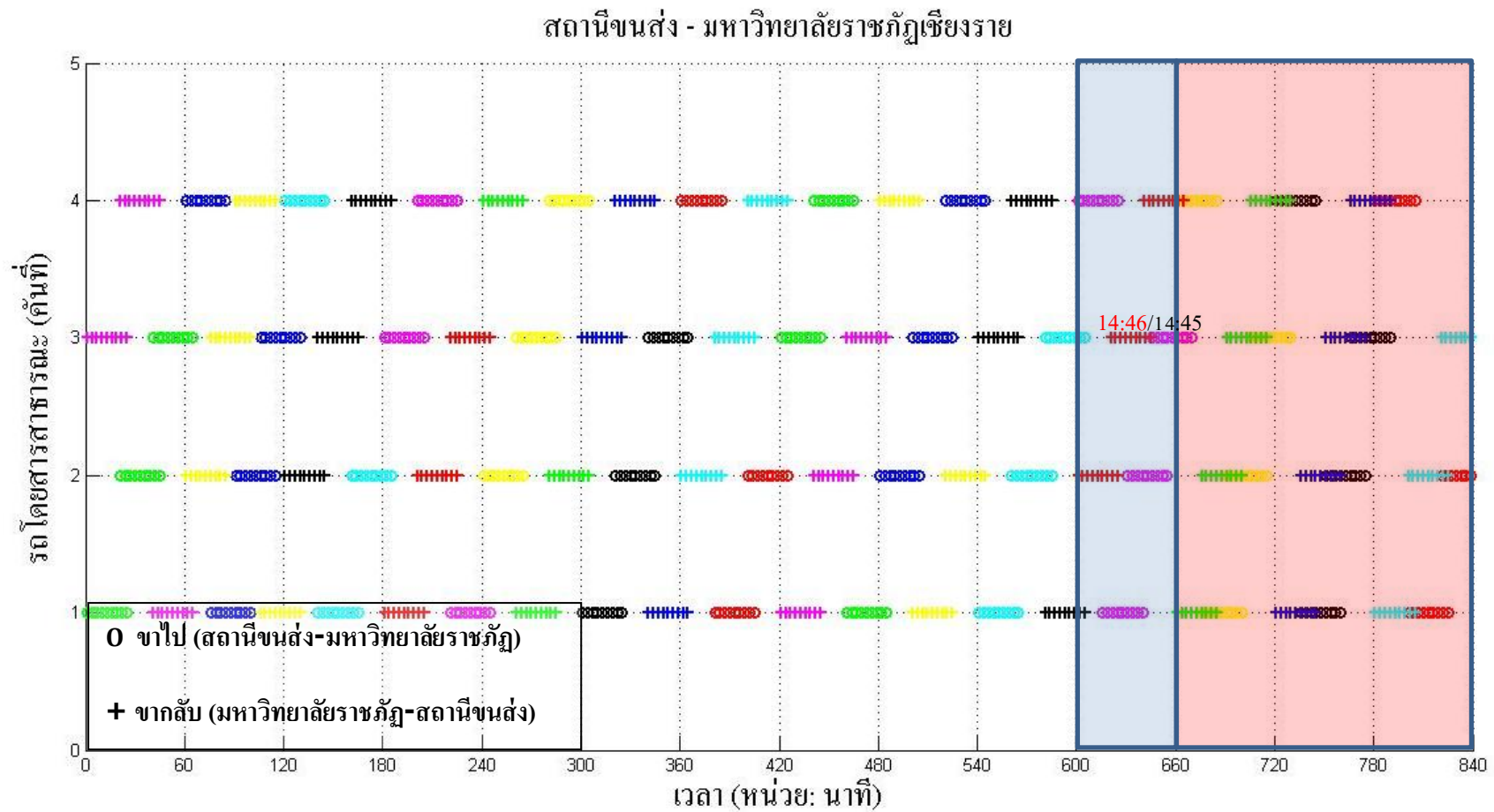
คันที่ 1 ที่ให้บริการขาไปจำนวน 10 เที่ยว และขากลับจำนวน 9 เที่ยว คันที่ 2-5 ให้บริการขาไปและกลับเท่ากัน คือ จำนวน 9 เที่ยว โดยสามารถให้บริการตามตารางการให้บริการเชิงนโยบาย (ดังแสดงในตารางที่ 3.7) ที่กำหนดได้ คือ ขาไป 46 เที่ยว และขากลับ 45 เที่ยว ตามลำดับ และเมื่อวัดถึงประสิทธิภาพการให้บริการต่อเวลาให้บริการทั้งหมดแล้ว ได้ร้อยละ 57 (ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.11)

ตารางที่ 4.7 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-  
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในช่วงเวลา 16:00 น. – 18:00 น.

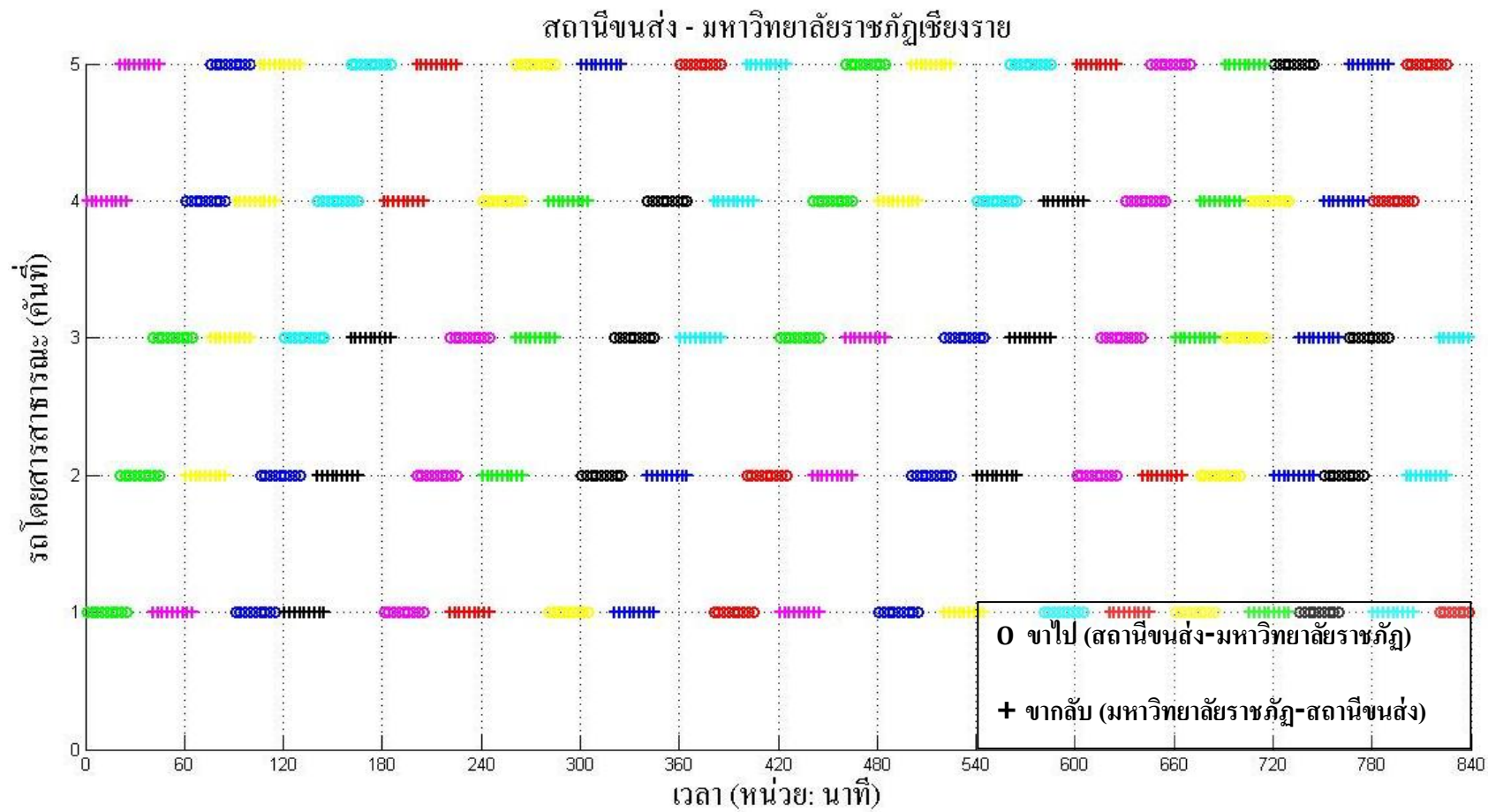
| เส้นทางสถานีขนส่ง – มหาวิทยาลัยราชภัฏ |       |               |                  |        | เส้นทางมหาวิทยาลัยราชภัฏ-สถานีขนส่ง |                  |                  |                  |                 |
|---------------------------------------|-------|---------------|------------------|--------|-------------------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
|                                       | เวลา  | เวลาให้บริการ |                  | เวลา   |                                     | เวลา             | เวลาให้บริการ    |                  | เวลา            |
|                                       | มาถึง | เริ่มต้น      | สิ้นสุด          | รอกคอย |                                     | มาถึง            | เริ่มต้น         | สิ้นสุด          | รอกคอย          |
| 4                                     | 15:46 | 16:00         | 16:25            | 0:14   | 2                                   | 15:45            | 16:00            | 16:26            | 0:15            |
| 1                                     | 16:06 | 16:15         | 16:40            | 0:09   | <u>3</u>                            | <u>16:05</u>     | <del>16:20</del> | <u>16:46</u>     | <u>0:15</u>     |
| 2                                     | 16:26 | 16:30         | 16:55            | 0:04   | <del>4</del>                        | <del>16:25</del> | <del>16:40</del> | <del>17:06</del> | <del>0:15</del> |
| 5                                     | Start | 16:45         | <del>17:10</del> | 0:00   | 1                                   | 16:40            | 17:00            | 17:26            | 0:20            |
| 3                                     | 16:46 | 17:00         | 17:25            | 0:14   | 2                                   | 16:55            | 17:15            | 17:41            | 0:20            |

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการให้บริการรถโดยสารสาธารณะ ในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-  
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลง และไม่เปลี่ยนแปลงความถี่  
การให้บริการ

|                                 | จำนวนเที่ยวที่ให้บริการของ |    |    |    |   |     | อัตราส่วนเวลาที่ให้บริการ |        |
|---------------------------------|----------------------------|----|----|----|---|-----|---------------------------|--------|
|                                 | ยานพาหนะแต่ละคัน (เที่ยว)  |    |    |    |   |     | ต่อเวลาทั้งหมด            |        |
|                                 | 1                          | 2  | 3  | 4  | 5 | รวม | ชั่วโมง                   | ร้อยละ |
| <b>กรณีที่ 1</b> จัดตารางการให้ |                            |    |    |    |   |     |                           |        |
| บริการรถโดยสารสาธารณะ           | 10                         | 9  | 9  | 9  | 9 | 46  | $7\frac{44}{60}$          | 57     |
| ตามตารางเชิงนโยบายที่           |                            |    |    |    |   |     | $13\frac{45}{60}$         |        |
| กำหนดขึ้น                       | 9                          | 9  | 9  | 9  | 9 | 45  |                           |        |
| <b>กรณีที่ 2</b> จัดตารางการให้ |                            |    |    |    |   |     |                           |        |
| บริการขั้นต่ำเชิงนโยบายโดย      | 12                         | 12 | 11 | 11 | - | 46  | $9\frac{46}{60}$          | 71     |
| อนุญาตให้มีการเปลี่ยนแปลง       |                            |    |    |    |   |     | $13\frac{45}{60}$         |        |
| (เพิ่ม) ความถี่การให้บริการ     | 11                         | 11 | 12 | 12 | - | 46  |                           |        |



ภาพที่ 4.10 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย กรณีไม่เปลี่ยนแปลงความถี่ให้บริการ (error)



ภาพที่ 4.11 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ กรณีไม่เปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการ

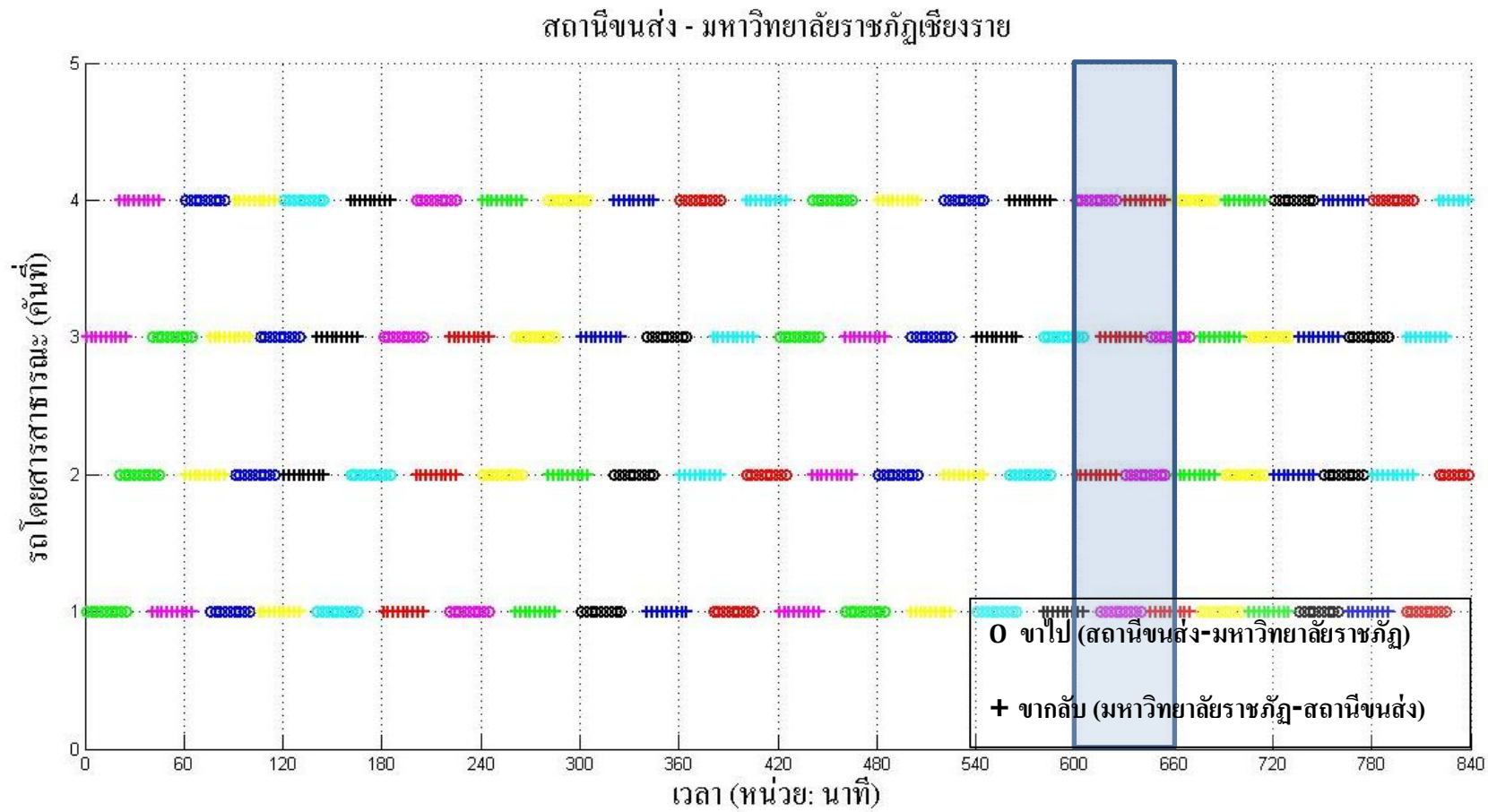
กรณี ที่ 2 จัดตารางการให้บริการขึ้นต่ำเชิงนโยบายที่กำหนดขึ้นโดยอนุญาตให้มีการเปลี่ยนแปลง (เพิ่ม) ความถี่การให้บริการ (เพื่อเพิ่มการหมุนเวียนรถภายในเส้นทาง) เมื่อประมวลแบบจำลองเพื่อหาจำนวนรถที่ต่ำที่สุดที่จำเป็นต้องใช้เพื่อให้บริการ พบว่าต้องใช้ยานพาหนะทั้งสิ้น 4 คัน โดยต้องมีการเปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการภายในเส้นทาง การให้บริการจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย – สถานีขนส่งเดิม (เที่ยวกลับ) ในช่วงเวลาที่ 11 คือ 16:00 น. – 17:00 น. จากเดิม 3 เที่ยว เป็น 4 เที่ยวให้บริการ (ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ตัวหนา) เพื่อเพิ่มการหมุนเวียนรถภายในเส้นทางให้เพิ่มมากขึ้น (ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.12 แอปพลิเคชัน) หลังจากเปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการ พบว่ารถโดยสารสาธารณะทุกคันให้บริการจำนวนเที่ยวเท่ากัน คือ 23 เที่ยว แต่แตกต่างกันที่ คันที่ 1 และ 2 ให้บริการขาไป 12 เที่ยวและให้บริการจากกลับ 11 เที่ยว คันที่ 3 และ 4 ให้บริการขาไป 11 เที่ยวและให้บริการจากกลับ 12 เที่ยวตามลำดับ โดยสามารถให้บริการตามตารางการให้บริการเชิงนโยบายขึ้นต่ำที่กำหนดได้ คือ ขาไป 46 เที่ยว และขากลับ 46 เที่ยว ตามลำดับ กล่าวคือ การให้บริการในขากลับจากมหาวิทยาลัยราชภัฏ – สถานีขนส่ง (เดิม) สูงกว่าความถี่เชิงนโยบายที่กำหนด 1 เที่ยว เมื่อวัดถึงประสิทธิภาพการให้บริการต่อเวลาทั้งหมดได้ร้อยละ 71 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการให้บริการที่เพิ่มขึ้น (ดังแสดงในตารางที่ 4.8)

**ตารางที่ 4.9** การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในช่วงเวลา 16:00 น. – 18:00 น. กรณีเพิ่มความถี่การให้บริการ

| เส้นทางสถานีขนส่ง – มหาวิทยาลัยราชภัฏ |       |               |         |       | เส้นทางมหาวิทยาลัยราชภัฏ-สถานีขนส่ง |       |               |         |       |
|---------------------------------------|-------|---------------|---------|-------|-------------------------------------|-------|---------------|---------|-------|
|                                       | เวลา  | เวลาให้บริการ |         | เวลา  |                                     | เวลา  | เวลาให้บริการ |         | เวลา  |
|                                       | มาถึง | เริ่มต้น      | สิ้นสุด | รอกอย |                                     | มาถึง | เริ่มต้น      | สิ้นสุด | รอกอย |
| 4                                     | 15:46 | 16:00         | 16:25   | 0:14  | 2                                   | 15:45 | <b>16:00</b>  | 16:26   | 0:15  |
| 1                                     | 16:06 | 16:15         | 16:40   | 0:09  | 3                                   | 16:05 | <b>16:15</b>  | 16:41   | 0:10  |
| 2                                     | 16:26 | 16:30         | 16:55   | 0:04  | 4                                   | 16:25 | <b>16:30</b>  | 16:56   | 0:05  |
| 3                                     | 16:41 | 16:45         | 17:10   | 0:04  | 1                                   | 16:40 | <b>16:45</b>  | 17:11   | 0:05  |
| 4                                     | 16:56 | 17:00         | 17:25   | 0:04  | 2                                   | 16:55 | 17:00         | 17:26   | 0:05  |
| 1                                     | 17:11 | 17:15         | 17:40   | 0:04  | 3                                   | 17:10 | 17:15         | 17:41   | 0:05  |
| 2                                     | 17:26 | 17:30         | 17:55   | 0:04  | 4                                   | 17:25 | 17:30         | 17:56   | 0:05  |
| 3                                     | 17:41 | 17:45         | 18:10   | 0:04  | 1                                   | 17:40 | 17:45         | 18:11   | 0:05  |

ตารางที่ 4.10 ผลลัพธ์แบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

| ช่วงเวลาให้บริการ | สถานีขนส่ง – มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย |      |                 |              |                  | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย – สถานีขนส่ง |      |                 |              |                  |
|-------------------|----------------------------------------|------|-----------------|--------------|------------------|----------------------------------------|------|-----------------|--------------|------------------|
|                   | ความถี่ให้บริการ                       |      | จำนวนรถที่มาถึง |              | จำนวนรถให้บริการ | ความถี่ให้บริการ                       |      | จำนวนรถที่มาถึง |              | จำนวนรถให้บริการ |
|                   | นโยบาย                                 | จริง | ชั่วโมงที่ 1    | ชั่วโมงที่ 2 |                  | นโยบาย                                 | จริง | ชั่วโมงที่ 1    | ชั่วโมงที่ 2 |                  |
| 1 06:00-07:00     | 3                                      | 3    | 2               | -            | 2                | 3                                      | 3    | 2               | -            | 2                |
| 2 07:00-08:00     | 4                                      | 4    | 3               | 1            |                  | 4                                      | 4    | 3               | 1            |                  |
| 3 08:00-09:00     | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  |
| 4 09:00-10:00     | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  |
| 5 10:00-11:00     | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  |
| 6 11:00-12:00     | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  |
| 7 12:00-13:00     | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  |
| 8 13:00-16:00     | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  |
| 9 14:00-15:00     | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  |
| 10 15:00-16:00    | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  |
| 11 16:00-17:00    | 4                                      | 4    | 3               | 1            |                  | 3                                      | 4    | 3               | 1            |                  |
| 12 17:00-18:00    | 4                                      | 4    | 3               | 1            |                  | 4                                      | 4    | 3               | 1            |                  |
| 13 18:00-19:00    | 4                                      | 4    | 3               | 1            |                  | 4                                      | 4    | 3               | 1            |                  |
| 14 19:00-20:00    | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  | 3                                      | 3    | 2               | 1            |                  |
| รวม               | 46                                     | 46   |                 |              | 2                | 45                                     | 46   |                 |              | 2                |



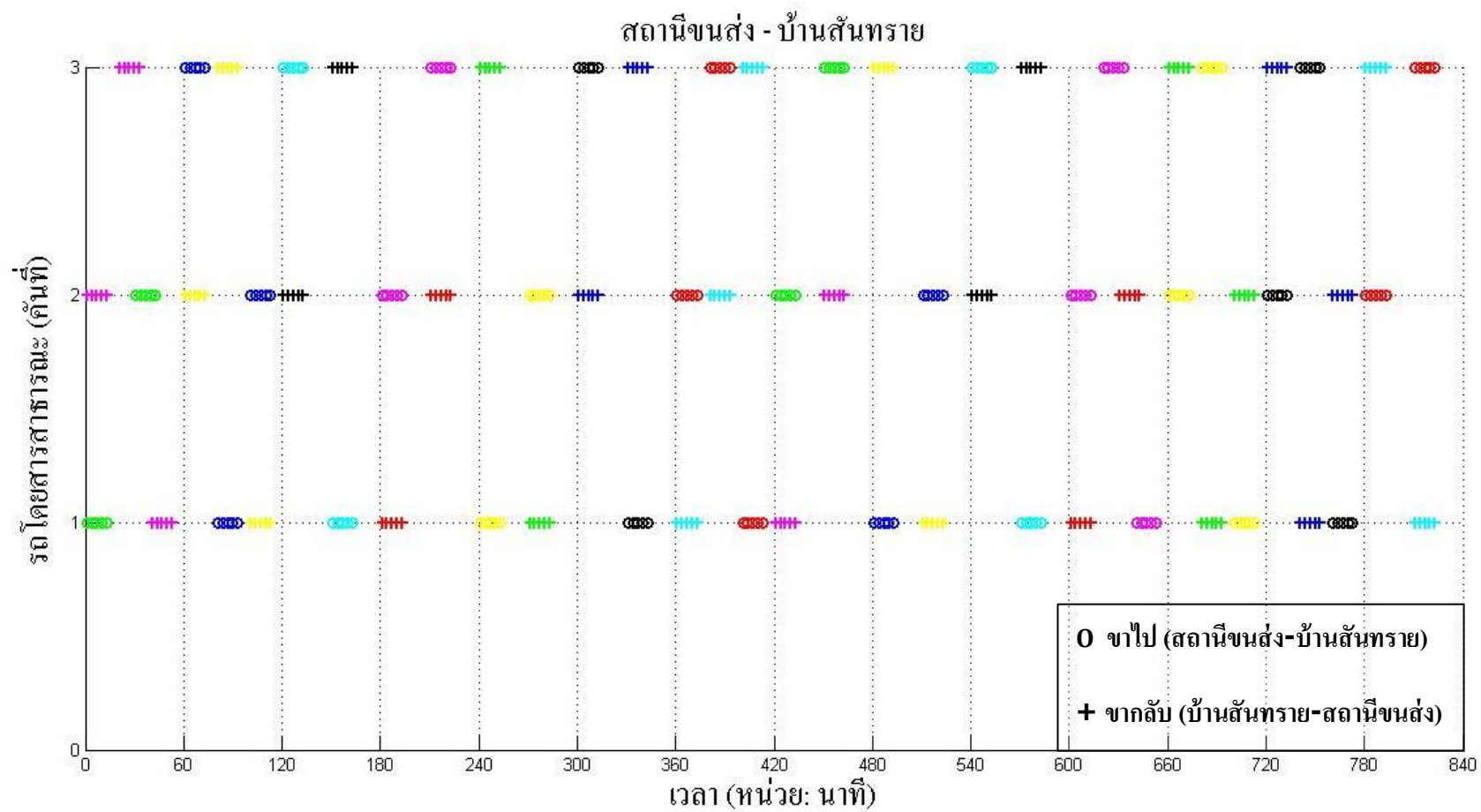
ภาพที่ 4.12 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย กรณีเปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการ

เส้นทางที่ 2 เส้นทางสถานีขนส่งเดิม – บ้านสันทราย รายละเอียดเวลาในการให้บริการ (ไป/กลับ) เท่ากันคือ 15 นาที เมื่อประมวลผลแบบจำลองจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะสามารถอธิบายรายละเอียดการประมวลผลทั้ง 2 กรณีได้ดังนี้ (ดังแสดงในตารางที่ 4.11)

ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพการให้บริการรถโดยสารสาธารณะใน เส้นทางสถานีขนส่งเดิม(เดิม)–บ้านสันทราย กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงและไม่เปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการ

|                                                                                                                          | จำนวนเที่ยวที่ให้บริการ<br>(รถคันที่) |    |    |     | อัตราส่วนเวลาที่ไม่ได้<br>ให้บริการต่อเวลาทั้งหมด |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----|----|-----|---------------------------------------------------|----|
|                                                                                                                          | 1                                     | 2  | 3  | รวม | ร้อยละ                                            |    |
| <b>กรณีที่ 1</b> จัดตารางการให้บริการ<br>รถโดยสารสาธารณะตามตาราง<br>เงินโยบายที่กำหนดขึ้น                                | 11                                    | 11 | 11 | 33  | $5\frac{30}{60}$<br>$13\frac{28}{60}$             | 41 |
| <b>กรณีที่ 2</b> จัดตารางการให้บริการ<br>ขึ้นต่ำเงินโยบายโดยอนุญาตให้<br>มีการเปลี่ยนแปลง (เพิ่ม)ความถี่<br>การให้บริการ | 17                                    | 17 | -  | 34  | $8\frac{30}{60}$<br>$13\frac{45}{60}$             | 62 |

กรณีที่ 1 จัดตารางการให้บริการรถโดยสารสาธารณะขึ้นต่ำตารางเงินโยบายที่กำหนดขึ้นพบว่า ต้องใช้จำนวนรถในการให้บริการต่ำสุด 3 คัน โดยแต่ละคันให้บริการจำนวนเที่ยวเท่ากัน คือ 11 รอบ (ไปกลับคิดเป็น 1 รอบ) และเมื่อวัดถึงประสิทธิภาพการให้บริการต่อเวลาให้บริการทั้งหมดแล้ว ได้ร้อยละ 41 (ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.13)



ภาพที่ 4.13 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย กรณีไม่เปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการ

กรณีที่ 2 จัดตารางการให้บริการขึ้นต่ำเชิงนโยบายที่กำหนดขึ้นโดยอนุญาตให้มีการเปลี่ยนแปลง (เพิ่ม) ความถี่การให้บริการ (เพื่อเพิ่มการหมุนเวียนรถภายในเส้นทาง) เมื่อประมวลแบบจำลองเพื่อหาจำนวนรถที่ต่ำที่สุดที่จำเป็นต้องใช้เพื่อให้บริการ พบว่าสามารถลดการใช้ยานพาหนะเพื่อให้บริการได้ 1 คัน คือลดลงเหลือ 2 คัน โดยต้องมีการเปลี่ยนแปลง (เพิ่ม) ความถี่การให้บริการใน 2 ทิศทาง (2 ช่วงเวลา) คือ ในเส้นทางจากสถานีขนส่งเดิม-บ้านสันทราย (ขาไป) 06:00 น.-07:00 น. และในเส้นทางจากบ้านสันทราย-สถานีขนส่งเดิม (ขากลับ) 16:00 น.-17:00 น. คือ ทั้ง 2 ช่วงเวลาต้องเพิ่มความถี่ในการให้บริการจากเดิม 2 เที่ยวต่อชั่วโมง เป็น 3 เที่ยวต่อชั่วโมง (ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และภาพที่ 4.14 แดบสีฟ้า) เพื่อเพิ่มการหมุนเวียนรถภายในเส้นทางให้มากขึ้น เพราะถ้าหากไม่เปลี่ยนแปลงความถี่ดังกล่าว จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดหารถโดยสารสาธารณะให้บริการเพิ่มอีก 1 คัน เพื่อที่จะสามารถให้บริการตามตารางเชิงนโยบาย (ดังแสดงในตารางที่ 3.7) ที่กำหนดขึ้น (ดังแสดงในภาพที่ 4.13) เนื่องจากความถี่เชิงนโยบายที่กำหนดขึ้นไม่สอดคล้องกับการหมุนเวียนภายในชั่วโมง (ดังแสดงในตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.15 กล้องสีแดง)

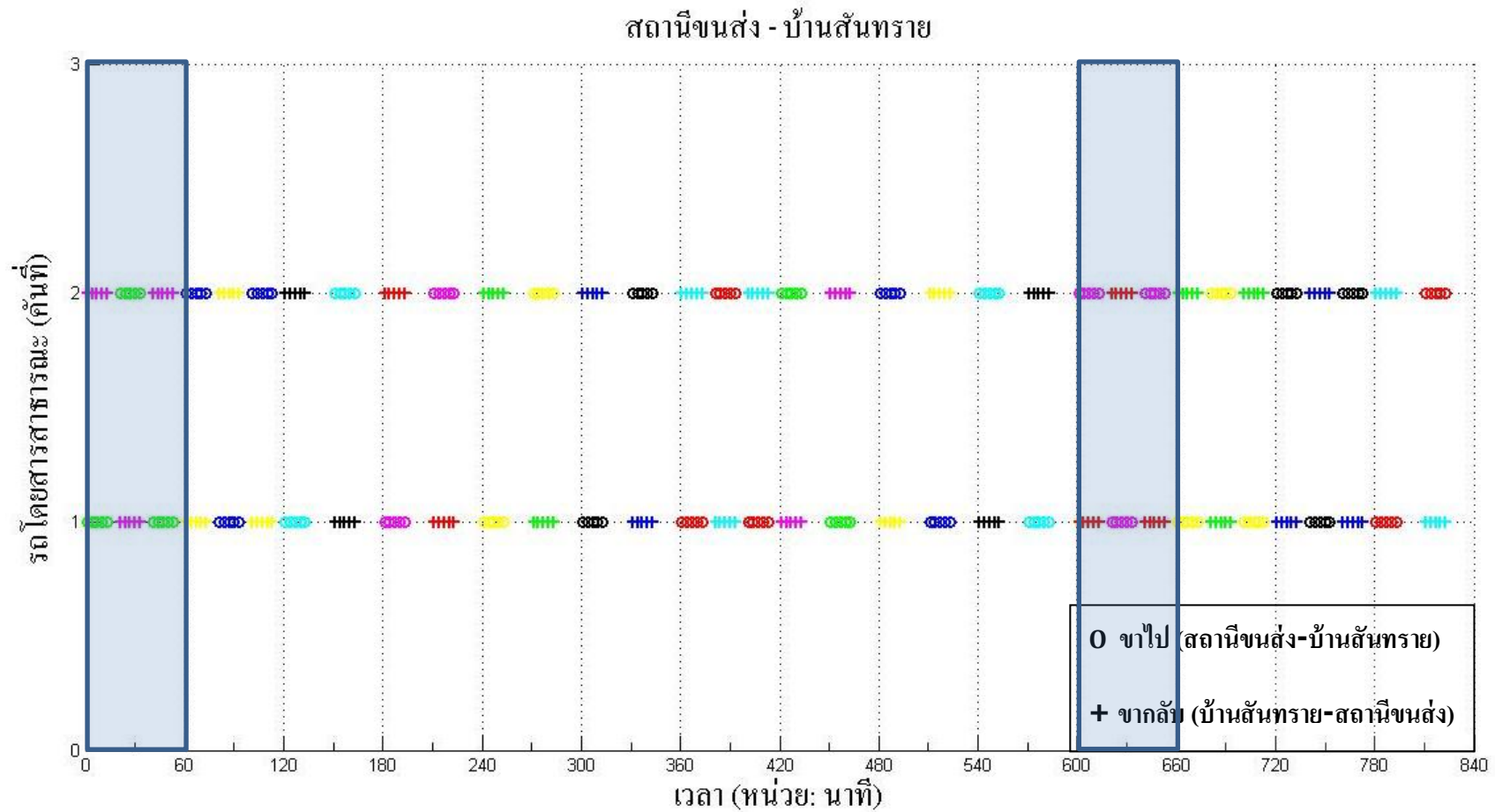
**ตารางที่ 4.12** การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย  
ในช่วงเวลา 6:00 น. – 8:00 น.

| เส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม) – บ้านสันทราย |               |                    |         |                | เส้นทางบ้านสันทราย-สถานีขนส่ง(เดิม) |                |                    |                |                |
|---------------------------------------|---------------|--------------------|---------|----------------|-------------------------------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|
|                                       | เวลา<br>มาถึง | เวลาให้บริการ      |         | เวลา<br>รอกคอย |                                     | เวลา<br>มาถึง  | เวลาให้บริการ      |                | เวลา<br>รอกคอย |
|                                       |               | เริ่มต้น           | สิ้นสุด |                |                                     |                | เริ่มต้น           | สิ้นสุด        |                |
| 1                                     | Start         | 6:00:00            | 6:15:00 | -              | 2                                   | Start          | <del>6:00:00</del> | 6:15:00        | -              |
| 2                                     | 6:15:00       | <del>6:30:00</del> | 6:45:00 | 0:15:00        | 1                                   | 6:15:00        | <del>6:20:00</del> | 6:35:00        | 0:05           |
| 1                                     | 6:35:00       | <del>7:00:00</del> | 7:15:00 | 0:25:00        | 2                                   | <b>6:45:00</b> | <b>6:40:00</b>     | <b>6:55:00</b> | -              |
| 2                                     | 6:55:00       | 7:20:00            | 7:35:00 | 0:25:00        | 1                                   | <b>7:15:00</b> | <b>7:00:00</b>     | <b>7:15:00</b> | -              |
| 1                                     | 7:15:00       | 7:40:00            | 7:55:00 | 0:25:00        | 2                                   | <b>7:35:00</b> | <b>7:20:00</b>     | <b>7:35:00</b> | -              |

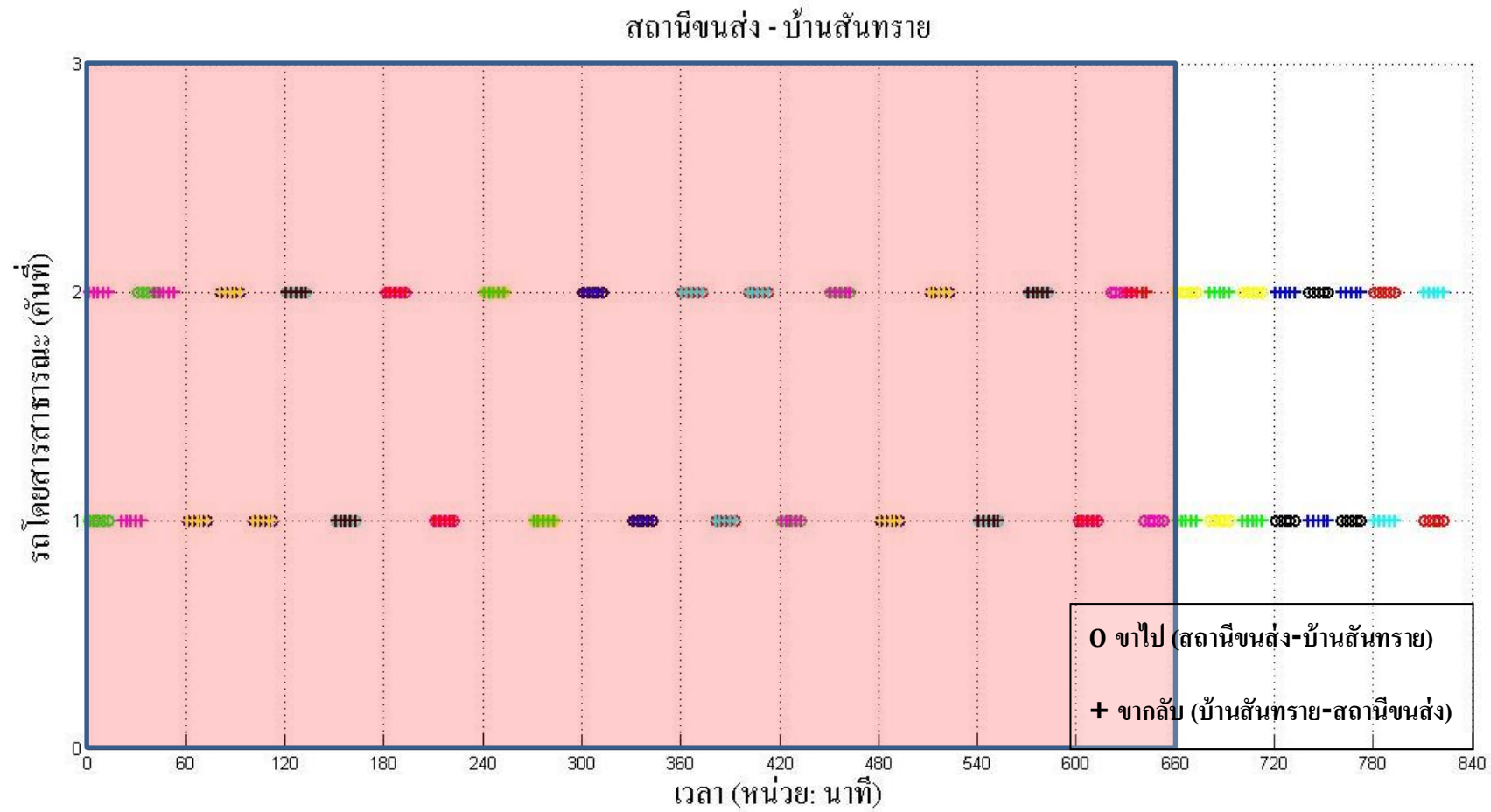
เพื่อเป็นลดการใช้ยานพาหนะเพื่อให้บริการจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในการให้บริการในเส้นทางดังกล่าว โดยหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในการให้บริการแล้ววัดถึงประสิทธิภาพการให้บริการต่อเวลาให้บริการทั้งหมด ได้ร้อยละ 62 (ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.14) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการใช้เวลาในการให้บริการได้มากขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 ผลลัพธ์แบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย

| ช่วงเวลาให้บริการ     | สถานีขนส่ง – บ้านสันทราย |           |                 |              |                  | บ้านสันทราย – สถานีขนส่ง |           |                 |              |                  |
|-----------------------|--------------------------|-----------|-----------------|--------------|------------------|--------------------------|-----------|-----------------|--------------|------------------|
|                       | ความถี่ให้บริการ         |           | จำนวนรถที่มาถึง |              | จำนวนรถให้บริการ | ความถี่ให้บริการ         |           | จำนวนรถที่มาถึง |              | จำนวนรถให้บริการ |
|                       | นโยบาย                   | จริง      | ชั่วโมงที่ 1    | ชั่วโมงที่ 2 |                  | นโยบาย                   | จริง      | ชั่วโมงที่ 1    | ชั่วโมงที่ 2 |                  |
| <b>1 06:00-07:00</b>  | 2                        | <b>3</b>  | -----3          | -----        | <b>1</b>         | -----3                   | -----3    | ----->3         | -            | <b>1</b>         |
| 2 07:00-08:00         | 3                        | 3         | 3               | -            |                  | 3                        | 3         | 3               | -            |                  |
| 3 08:00-09:00         | 2                        | 2         | 2               | -            |                  | 2                        | 2         | 2               | -            |                  |
| 4 09:00-10:00         | 2                        | 2         | 2               | -            |                  | 2                        | 2         | 2               | -            |                  |
| 5 10:00-11:00         | 2                        | 2         | 2               | -            |                  | 2                        | 2         | 2               | -            |                  |
| 6 11:00-12:00         | 2                        | 2         | 2               | -            |                  | 2                        | 2         | 2               | -            |                  |
| 7 12:00-13:00         | 3                        | 3         | 3               | -            |                  | 3                        | 3         | 3               | -            |                  |
| 8 13:00-14:00         | 2                        | 2         | 2               | -            |                  | 2                        | 2         | 2               | -            |                  |
| 9 14:00-15:00         | 2                        | 2         | 2               | -            |                  | 2                        | 2         | 2               | -            |                  |
| 10 15:00-16:00        | 2                        | 2         | 2               | -            |                  | 2                        | 2         | 2               | -            |                  |
| <b>11 16:00-17:00</b> | 3                        | <b>3</b>  | 3<-----         | -----2       | <b>3</b>         | 3                        | 3         | 3               | -            |                  |
| 12 17:00-18:00        | 3                        | 3         | 3               | -            |                  | 3                        | 3         | 3               | -            |                  |
| 13 18:00-19:00        | 3                        | 3         | 3               | -            |                  | 3                        | 3         | 3               | -            |                  |
| 14 19:00-20:00        | 2                        | 2         | 2               | -            |                  | 2                        | 2         | 2               | -            |                  |
| <b>รวม</b>            | <b>33</b>                | <b>34</b> |                 |              | <b>1</b>         | <b>33</b>                | <b>34</b> |                 |              | <b>1</b>         |



ภาพที่ 4.14 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย กรณีเปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการ



ภาพที่ 4.15 การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย กรณีไม่เปลี่ยนแปลงความถี่การให้บริการ (error)

**4.2.2 กรณีที่มีการหมุนเวียนรถระหว่างเส้นทาง พบว่าผลที่ได้**ไม่มีความแตกต่างกันในด้านของจำนวนรถที่ใช้ ทั้งในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่และไม่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ในการให้บริการ กล่าวคือจะต้องใช้ยานพาหนะทั้งสิ้น 8 และ 6 คันตามลำดับ อันเนื่องมาจากความต้องการใช้รถโดยสารสาธารณะทั้งสองเส้นทางมีช่วงความต้องการในช่วงเวลาเร่งด่วนเหมือนกัน อันมีผลให้ไม่สามารถหมุนเวียนรถระหว่างเส้นทางตามความต้องการได้

จากการศึกษาในเรื่องการจัดตารางยานพาหนะพบว่า การเปลี่ยนแปลงความถี่ภายในเส้นทางมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำ เพราะมีผลกระทบโดยตรงต่อการใช้จำนวนยานพาหนะในการให้บริการ ซึ่งถ้ามีการจัดตารางการให้บริการที่ดี (มีการหมุนเวียนรถดีทั้งขาไปและกลับ) มีผลให้ผู้ให้บริการสามารถให้บริการในจำนวนรอบได้เพิ่มขึ้น



## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 การสรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อออกแบบเส้นทางและจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ โดยมีวัตถุประสงค์การศึกษาวิจัย 3 ข้อ คือ (1) เพื่อออกแบบเส้นทางและจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (2) เพื่อกำหนดเส้นทางรถให้บริการโดยสารสาธารณะที่เหมาะสมของจังหวัดเชียงราย ภายใต้เงื่อนไขประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงมากที่สุด และ (3) เพื่อจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะให้สอดคล้องกับความต้องการเดินทางของประชาชน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้รถโดยสารสาธารณะน้อยที่สุด

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟร่วมกับกระบวนการกำหนดจำนวนเต็ม เพื่ออธิบายรูปแบบของปัญหา ซึ่งกระบวนการกำหนดจำนวนเต็ม เป็นปัญหารูปแบบหนึ่งในสมการเชิงเส้นที่เพิ่มข้อจำกัดของตัวแปรต้องอยู่ในรูปของจำนวนเต็ม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดของเป้าหมายที่กำหนด ภายใต้สภาวะการข้อจำกัดบางประการ กระบวนการแก้ปัญหาคำหนดจำนวนเต็มสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการแตกกิ่งและจำกัดเขต กระบวนการระนาบตัด เป็นต้น การวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการแตกกิ่งและเพิ่มระนาบตัด ซึ่งใช้หลักการของวิธีการแตกกิ่งและจำกัดเขตร่วมกับวิธีระนาบตัด ในการแก้ปัญหาคำหนดจำนวนเต็ม โดยสามารถสรุปผลการศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ หลังจากพัฒนาแบบจำลองแล้วเสร็จ ได้ทำการประมวลผลแบบจำลอง 2 กรณีดังต่อไปนี้ คือ

กรณีที่ 1 เป็นการประมวลผลแบบจำลองเพื่อปรับปรุงเส้นทางรถให้บริการโดยสารสาธารณะในปัจจุบัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงน้อยที่สุดและลดพื้นที่ให้บริการที่ทับซ้อนกัน จำนวน 2 เส้นทางคือ เส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และเส้นทางสถานีขนส่ง(เดิม)-บ้านสันทราย ซึ่งสามารถลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายหลักของการให้บริการทั้งสองเส้นทางได้ 98 มิลลิลิตรต่อรอบการให้บริการหรือคิดเป็น 3.3%

กรณีที่ 2 เป็นส่วนของการออกแบบเส้นทางใหม่เพิ่มเติม (เส้นทางสถานีขนส่ง (ใหม่) – สถานีขนส่ง (เดิม) – ท่าอากาศยานจังหวัดเชียงราย) เพื่อให้ครอบคลุมแหล่งดึงดูดการเดินทางในเขตผังเมืองรวมเมืองเชียงราย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำมาขึ้นเชื่อเพลิงในการให้บริการน้อยที่สุด และเมื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการประมวลผลทั้งสองครั้ง 3 เส้นทางพบว่า สามารถให้บริการผ่านจุดดึงดูดการเดินทางที่กำหนดไว้ในกลุ่มของสถานพยาบาล สถานศึกษา และสถานที่ราชการ รวมไปถึงท่ารถน้อยต่าง ๆ ได้ทั้งหมด โดยครอบคลุมแหล่งดึงดูดการเดินทางที่สำคัญในจังหวัดเชียงราย คิดเป็น 65% ของความต้องการในการเดินทางของผู้พักอาศัยในเขตเทศบาลของจังหวัดเชียงราย

แบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ เมื่อพัฒนาแบบจำลองแล้วเสร็จ ทำการประมวลผลแบบจำลอง เพื่อหาจำนวนรถโดยสารสาธารณะที่จำเป็นต้องใช้เพื่อให้บริการในสองเส้นทางที่ให้บริการในปัจจุบัน คือ เส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) – มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และเส้นทางสถานีขนส่ง (เดิม) – บ้านสันทราย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการบริหารการเดินรถให้มีประสิทธิภาพที่สุด โดยใช้จำนวนรถน้อยเพื่อให้บริการที่สุด ซึ่งทำการประมวลผล 2 กรณี คือกรณีที่จัดตารางการให้บริการรถโดยสารสาธารณะตามตารางเชิงนโยบายที่กำหนดขึ้นพบว่าใช้จำนวนรถทั้งสิ้น 5 และ 3 คันตามลำดับ และเมื่อวัดถึงประสิทธิภาพการให้บริการ (เวลาให้บริการต่อเวลาทั้งหมด) ได้ 57% และ 41% ตามลำดับ ซึ่งสามารถให้บริการตามตารางเชิงนโยบายที่กำหนดได้ และเมื่อทำการประมวลผลในกรณีที่ 2 คือในกรณีที่อนุญาตให้สามารถเปลี่ยนแปลง (เพิ่ม) ความถี่ในการให้บริการได้ (แต่ต้องไม่ต่ำกว่าความถี่เชิงนโยบายที่กำหนด) เพื่อเพิ่มการหมุนเวียนรถภายในเส้นทาง สามารถลดการใช้รถโดยสารสาธารณะลงได้เส้นทางละ 1 คัน คือเหลือ 4 คัน และ 2 คันตามลำดับ เมื่อวัดถึงประสิทธิภาพการให้บริการ พบว่าเพิ่มขึ้นเป็น 71% และ 62% ตามลำดับ

## 5.2 การอภิปรายผล

จากการศึกษาการออกแบบเส้นทางบริการรถโดยสารสาธารณะ โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีการจัดเส้นทางยานพาหนะ ซึ่งมีคุณลักษณะที่สำคัญ 4 ประการคือ (1) ยานพาหนะแต่ละคันจะต้องเริ่มต้นและสิ้นสุดที่สถานี (2) ลูกค้ายจะต้องได้รับการบริการจากเส้นทางเดียวเท่านั้น (3) ระยะทางที่ให้บริการในแต่ละเส้นทางจะต้องไม่เกินที่กำหนด และ (4) คำตอบของแบบจำลองต้องการหาเส้นทางที่ให้บริการที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด พบว่าทฤษฎีการจัดเส้นทางยานพาหนะสามารถประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบเส้นทางบริการรถโดยสารสาธารณะได้เป็นอย่างดี และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้

จากการศึกษาถึงแบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ โดยให้ความสำคัญการวิเคราะห์ความถี่ในการให้บริการ โดยผู้วิจัยปรับปรุงสมการของซุ (Zhu, 1991) ร่วมกับการปรับปรุงรูปแบบการกำหนดเชิงเส้นของ (กาญจน์กรรณ ปิยะไพร, 2547) เพื่อให้สามารถคำนวณจำนวนรถที่เข้ามาในแต่ละชั่วโมง เพื่อเพิ่มการหมุนเวียนรถภายในและระหว่างเส้นทาง โดยผลการศึกษาพบว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มการหมุนเวียนรถโดยสารสาธารณะได้ เป็นผลให้ประสิทธิภาพการให้บริการภายในและระหว่างเส้นทางดีขึ้นตามลำดับ

### 5.3 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ และข้อเสนอแนะอื่น ๆ

แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะ ที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้เพื่อออกแบบเส้นทางในการให้บริการรถโดยสารสาธารณะ โดยผลของแบบจำลองผลสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงเส้นทางในการให้บริการในปัจจุบันได้ จากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปข้อเสนอแนะในการพัฒนาครั้งต่อไป ดังนี้ (1) ควรปรับปรุงแบบจำลองให้สามารถสร้างเส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะแบบไปและกลับได้ในคราวเดียว เพื่อที่สามารถหาเส้นทางในการให้บริการที่เหมาะสม คือ มีการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางในการให้บริการ (ทิศทางไปและกลับน้อยที่สุด) เพื่อป้องกันความสับสนของผู้ใช้บริการ และ (2) ควรเพิ่มข้อมูลการเดินทางของประชาชน เพื่อที่สามารถจัดเส้นทางได้ตรงตามความต้องการของผู้โดยสารได้มากที่สุด

แบบจำลองการจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะ ที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพตารางการให้บริการเชิงนโยบายที่กำหนดขึ้น โดยการเพิ่มการหมุนเวียนรถภายในและระหว่างเส้นทางได้ ซึ่งผลของการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงตารางการให้บริการในปัจจุบันที่สอดคล้องกับความต้องการเดินทางของผู้โดยสารมากขึ้น จากการศึกษาสามารถสรุปข้อเสนอแนะในการพัฒนาครั้งต่อไปดังนี้ (1) ควรสำรวจข้อมูลความเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อที่จะสามารถประมาณเวลาในการให้บริการในแต่ละช่วงเวลาได้ใกล้เคียงความจริงมากขึ้นและ (2) ควรเพิ่มการสำรวจข้อมูลความต้องการเดินทางของประชาชนเพื่อนำข้อมูลมาจัดตารางเดินรถโดยสารสาธารณะได้ตรงตามความต้องการของผู้โดยสารเพิ่มขึ้น



## รายการอ้างอิง

## รายการอ้างอิง

- กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2553). เอกสารผังเมืองรวมเมืองเชียงราย. สืบค้นเมื่อ 13 พฤษภาคม 2553, จาก [http://www.dpt.go.th/lawmap/law\\_map/Chiang\\_Rai/result\\_Chiaing\\_Rai.htm](http://www.dpt.go.th/lawmap/law_map/Chiang_Rai/result_Chiaing_Rai.htm).
- กาญจน์กรรณ ปิยะไพโร. (2547). แนวทางการจัดการทางเดินรถโดยสารประจำทาง กรณีศึกษา เส้นทางรถโดยสารประจำทาง จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- กาญจน์กรรณ ปิยะไพโร และวิโรจน์ ศรีสุรภานนท์. (2548). การปรับปรุงการให้บริการเดินรถโดยสารประจำทาง กรณีศึกษา รถโดยสารประจำทาง จังหวัดนครราชสีมา. ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 10 (หน้า TRP-6-TRP-11).
- ณกร อินทร์พยุ. (2548). การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมการขนส่งและลอจิสติกส์. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น
- ธีรยุทธ ดันติวิญญพงศ์. (2535). การออกแบบโครงข่ายรถประจำทาง: กรณีศึกษาเมืองเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- นิตยา ณ เชียงใหม่. (ม.ป.ป.). ทฤษฎีกราฟและการประยุกต์. เอกสารการสอน ชุดที่ 2. ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- บุญส่ง สัตโยภาส, โกมล ศักดิ์ศรี, ภัทร์ ตั้งตระกูล, สรพงษ์ วุฒิอิน, สุรัช สติคุณารัตน์, และ วัชวุฒิ ศรีรัตน์. (2547). การศึกษาการจัดทำแผนแม่บทด้านการจราจรและขนส่งเมืองในภูมิภาค จังหวัดเชียงราย. เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- บุญสม ศิริโสภณา. (2553). กำหนดการจำนวนเต็ม (Integer programming) การหาผลเฉลยโดยวิธีการของ Ralph E. Gomory. สืบค้นเมื่อ 13 พฤษภาคม 2553, จาก <http://www.eco.ru.ac.th/eco/article/Y4C4/integer.pdf>

ประชิด ไกรเนตร. (2541). การขนส่งผู้โดยสาร (Passenger transportation). กรุงเทพฯ:  
มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ภัทรารุณ วิษพัฒน และอำนวยการศักดิ์ ทวีลาภ. (2550). การศึกษารูปแบบการเดินทางที่เหมาะสมของ  
เมืองภูมิภาคต่าง ๆ ในประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2553, จาก [http://www.  
thaicontractors.com/uploads/article/article\\_1197457901.pdf](http://www.thaicontractors.com/uploads/article/article_1197457901.pdf)

สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์. (ม.ป.ป.). ระบบขนส่งสาธารณะ. เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรม  
ขนส่ง. สืบค้นเมื่อ 2 กรกฎาคม 2553, จาก [http://www.surames.com/images/column\\_  
1227454933 /chapter%205%20public%20transportation.pdf](http://www.surames.com/images/column_1227454933/chapter%205%20public%20transportation.pdf)

สำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงราย. (2548ก). เอกสารแนบเส้นทางเดินรถโดยสารประจำทาง หมวดที่  
1 สายที่ 1 ชื่อเส้นทาง รอบเวียง จังหวัดเชียงราย. เชียงราย: สำนักงานขนส่ง  
จังหวัดเชียงราย.

สำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงราย. (2548ข). เอกสารแนบเส้นทางเดินรถโดยสารประจำทาง หมวดที่  
1 สายที่ 2 ชื่อเส้นทาง สถานีขนส่ง – สันทราย จังหวัดเชียงราย. เชียงราย: สำนักงานขนส่ง  
จังหวัดเชียงราย.

สำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงราย. (2548ค). เอกสารแนบเส้นทางเดินรถโดยสารประจำทาง หมวดที่  
1 สายที่ 3 ชื่อเส้นทาง สถานีขนส่ง – วิทยาลัยครูเชียงราย จังหวัดเชียงราย. เชียงราย:  
สำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงราย.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2548). การสำรวจการประกอบการขนส่งด้วยรถโดยสารประจำทาง พ.ศ.  
2548/กลุ่มสถิติสถานประกอบการ สำนักงานสถิติเศรษฐกิจและสังคม. กรุงเทพฯ:  
สำนักงานฯ.

Ceder, A. & Wilson, N. H. M. (1986). Bus network design. **Transportation Research Board –  
B, 20B(4)**, 331-334.

Chimani, M. (2008). **Vehicle routing**. Retrieved May 13, 2010, from [http://ls11-www.cs.uni-  
dortmund.de/people/chimani/VehicleRouting/](http://ls11-www.cs.uni-dortmund.de/people/chimani/VehicleRouting/)

- Christofides, N., Mingozzi, A., & Toth, P. (1981). **Exact algorithms for the vehicle routing problem based on spanning tree and shortest path relaxation**. *Math. Program.*, 10: 255-280.
- Chua, T. A. (1984). The planning of urban bus route and frequencies: a survey. **Transportation**, 12, 147-172.
- Clarke, G. & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. **Operations research**, (12), 568-581.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. **Management Science** 6,(1), 80-91.
- Grey, G. E. & Hotel, L. A. (1992). **Public transportation**. NJ: Prentice-Hall.
- Giannopoulous, G. A. (1989). **Bus planning and operation in urban areas: a practical guide, avebury**. UK: Gower.
- Kara, Imdat & Bektas, Tolga. (2005). **Minimal load on strained vehicle routing problems. Computational science**, 3514, 188-195.
- Kara, Imdat, Kara, Bahar Y. & Yetis, M. Kadri. (2007). Energy minimizing vehicle routing problem. **In Proceedings of the 1<sup>st</sup> international conference on combinational optimization and applications** (pp. 62-71). Berlin Heidelberg.
- Laporte, G. (n.d.). **Fifty years of vehicle routing**. Retrieved May 13, 2010, from [http://www.sistemasdeingenieria.cl/seminarios/PresTL/Plenary\\_Talks\\_Gilbert\\_Laporte.pdf](http://www.sistemasdeingenieria.cl/seminarios/PresTL/Plenary_Talks_Gilbert_Laporte.pdf)
- Laporte, G., Nobert, Y., & Desrochers, M. (1985). Optimal routing under capacity and distance restrictions. **Oper. Res.**, (33), 1058-1073.
- Lingaraj, B. P., Chatterjee, A. & Sinha, K. C. (1976). An optimization model for determining headways for transit routes. *Transportation planning and technology*, (3), 81-90.

Makhorin, Andrew. (2010a). **GNU linear programming kit reference manual version 4.43.**

Retrieved June 3, 2010, from <http://ftp.gnu.org/gnu/glpk/>.

Makhorin, Andrew. (2010b). **Modeling language GNU MathProg.** Retrieved June 3, 2010,

from <http://ftp.gnu.org/gnu/glpk/>.

Miller, C. E., Tucker A. W. & Zemlin R. A. (1960). Integer programming formulation of

Traveling salesman problems. **Journal of ACM**, 7(4), 326-329.

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). (2004). **Emission factors of in-use vehicles in Bangkok.** Japan.

Toth, Paolo & Vigo, Daniele. (2002). **The Vehicle Routing Problem.** United State of America:

Siam Monographs on Discrete Mathematics and Applications.

Ralphs, T. K. (1995). **Parallel Branch and Cut for Vehicle Routing.** Retrieved May 13, 2010,

from <http://coral.ie.lehigh.edu/~ted/cv/>

Transportation Research Board. (1998). **Transit scheduling: Basic and advanced manuals.**

Retrieved May 13, 2010, from [http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp\\_rpt\\_30-a.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_rpt_30-a.pdf)

Vuchic, V. R. (1981). **Urban public transportation: systems and technology.** NJ: Prentice-

Hall.

Zhu, W. (1991). **Bus scheduling management in Bangkok.** Doctor of Technical Science

Dissertation. No.IE-91-1, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

Zhu, W. & Dirk, L. V. O. (1995). Trip frequency scheduling for bus route management in

Bangkok. **European Journal of Operation Research**, (83), 439-451.



ประวัติผู้เขียน

## ประวัติผู้เขียน

|                     |                                                                                                                                        |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ                | นาย นิตศักดิ์ เจริญรูป                                                                                                                 |
| วัน เดือน ปีเกิด    | 17 กรกฎาคม 2517                                                                                                                        |
| สถานที่อยู่ปัจจุบัน | คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา<br>เขตพื้นที่เชียงราย 99 หมู่ 10 ต.ทรายขาว อ.พาน<br>จ.เชียงราย 57120 |
| ประวัติการศึกษา     |                                                                                                                                        |
| 2545                | ปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต<br>(เทคโนโลยีสารสนเทศ)                                                                                   |
| 2539                | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ<br>ปริญญาตรี บริหารธุรกิจบัณฑิต (ระบบสารสนเทศ)<br>สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล                         |
| ประวัติการทำงาน     |                                                                                                                                        |
| 2553 – ปัจจุบัน     | ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิจัยและพัฒนา<br>คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา<br>เขตพื้นที่เชียงราย               |
| 2546 – 2547         | หัวหน้าคณะวิชาบริหารธุรกิจ<br>สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเชียงราย                                                                  |
| 2541 – 2543         | หัวหน้าคณะวิชาบริหารธุรกิจ<br>สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเชียงราย                                                                  |
| 2539 – 2543         | หัวหน้าแผนกแผนงานและงบประมาณ<br>สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเชียงราย                                                                |