



รายงานการวิจัย

**การศึกษาระบบการขนส่งด้วยรถไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยราชภัฏ
เพชรบูรณ์ โดยใช้วิธีการสร้างแบบจำลองและเมตาฮิวริสติกอัลกอริทึม
Education Electric Car Service System in Phetchabun Rajabhat
University Using modeling and Metaheuristic Algorithm**

ปัญญา เทียนนาวาและคณะ

**สาขาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ประจำปีงบประมาณ 2558**

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาระบบการขนส่งด้วยรถไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยราชภัฏ
เพชรบูรณ์ โดยใช้วิธีการสร้างแบบจำลองและเมตาฮิวริสติกอัลกอริทึม

Education Electric Car Service System in Phetchabun Rajabhat
University Using modeling and Meta- Heuristic Algorithm

ปัญญา เทียนนาวาและคณะ

สาขาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ทุนอุดหนุนโดย งบประมาณแผ่นดินที่พิจารณาจากโดยผ่านความเห็นชอบจากสำนักงาน
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2558

ชื่องานวิจัย	การศึกษาระบบการขนส่งด้วยรถไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยราชภัฏ เพชรบูรณ์ โดยใช้วิธีการสร้างแบบจำลองและเมตาฮิวริสติกอัลกอริทึม
ผู้วิจัย	ปัญญา เทียนนาวา
ผู้ร่วมวิจัย/ที่ปรึกษา	ธนภัทร มณีแสง
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการผลิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ 2559

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองสถานการณ์ในการนำรถที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามาใช้ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพื่อลดการเกิดอุบัติเหตุจากการใช้รถ งานวิจัยนี้จะทำการคำนวณหาเส้นทาง ระยะเวลา ความเป็นไปได้ในการนำรถไฟฟ้าสาธารณะมาใช้ให้บริการในมหาวิทยาลัย โดยจะประยุกต์ใช้วิธีค้นหาเฉพาะที่ (Local Search : LC) และวิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization : ACO) มาการแก้ปัญหาการจัดการเส้นทางสำหรับยานพาหนะ ก่อนจำลองระบบการเดินรถไฟฟ้าลงบนคอมพิวเตอร์ โดยประสิทธิภาพ งานวิจัยชิ้นนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนประกอบหลัก ดังนี้ ส่วนที่ 1 คือศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างระบบรถไฟฟ้าในมหาวิทยาลัย ส่วนที่ 2 คือการประยุกต์ใช้วิธีการเมตาฮิวริสติกอัลกอริทึม (Metaheuristic Algorithms) เพื่อหาเส้นทางและจุดจอดของรถไฟฟ้าที่เหมาะสม และส่วนที่ 3 คือสร้างแบบจำลอง (Model) เพื่อใช้หาจำนวนรถไฟฟ้า จำนวนความถี่ในแต่ละวัน

จากการทดลองพบว่าอาณานิคมมดสามารถหาระยะทางได้สั้นกว่าวิธีการค้นหาเฉพาะที่ในทุกขนาดปัญหา จากนั้นนำเส้นทางที่ได้ในปัญหามาสีสร้างแบบจำลองทดลอง โดยกำหนดความถี่ เวลาการมาถึง จำนวนประชากร ให้แตกต่างกัน จากการทดลองพบว่าแบบจำลองสามารถใช้วางแผนและศึกษาในการจัดการตารางความถี่การเดินรถให้เหมาะสมในสถานการณ์ที่มีความแตกต่างกัน

คำสำคัญ : ระบบรถไฟฟ้า เมตาฮิวริสติกส์ วิธีอาณานิคมมด

Title	Education Electric Car Service System in Phetchabun Rajabhat University Using modeling and Meta- Heuristic Algorithm
Author	Panya Teannawa
Co-Researcher	Thanapat Maneesaeng
Branch	Production Technology Phetchabun Rajabhat University

Abstract

This study is intended to simulate the situation in the electrical vehicles used in Phetchabun Rajabhat University to reduce the vehicles accident traffic congestion. The research method applied Local Search and Ant Colony Optimization application of management solutions for vehicle routing after that was simulated by the computer program. This research consists of 3 components i.e. Section 1 study factors that affect of the electric system in the university. Section 2 applied Metaheuristic Algorithms of management solutions for vehicle routing and, Section 3 is modeling to quantify of the number Education Electric Car in daily frequencies

The computational experiments show that iterated Ant Colony Optimization outperforms other methods in most cases. Then received the route in a small problem by required differently of frequency arrival time and number of population. The results come from an experiment show that simulation model can be used for planning and teaching for logistics system with electric vehicles for situation is different.

Keywords : Electrical Vehicle System, Metaheuristics, Ant Colony Optimization

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยคำแนะนำต่าง ๆ จากคณาจารย์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ และความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ที่สละเวลาให้คำแนะนำคำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความกรุณา ให้คำปรึกษาแนะนำให้แก่ผู้วิจัย จึงขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้มา ณ ที่นี้ด้วย

ปัญญา เทียนนาวาและคณะ

11 มกราคม 2559

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	2
1.5 ขอบเขตของ โครงการวิจัย.....	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
1.6 ประโยชน์ของการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย	5
2.2 วิธีการแก้ปัญหา	9
2.3 การจำลองสถานการณ์	17
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสถานการณ์	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	20
3.1 เครื่องมือในการทำวิจัย.....	24
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	24
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	35
4.1 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ของการสำรวจความต้องการระบบขนส่งสาธารณะใน มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์	36
4.2 ผลลัพธ์จากการทดสอบเมตาฮีริสติก (Metaheuristic) เพื่อออกแบบเส้นทาง และจุดจอดของรถไฟฟ้าที่เหมาะสม	39

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5	สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	50
5.1	สรุปผลการวิจัย	71
5.2	ข้อเสนอแนะ	73
บรรณานุกรม		74
ภาคผนวก		76
	ภาคผนวก ก (ตัวอย่างแบบฟอร์ม).....	77
	ภาคผนวก ข (ผลลัพธ์จากการหาเส้นทางที่เหมาะสม)	78
	ภาคผนวก ค (ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์)	85
ประวัติคณะผู้วิจัย.....		100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตัวอย่างเมตริกชี้ระยะทางระหว่างจุดจอด	27
3.2 ตัวอย่างโจทย์ เพื่อออกแบบระบบการเดินรถไฟฟ้าสาธารณะ	32
4.1 จำนวนและร้อยละจำนวนข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม	34
4.2 การสำรวจความต้องการระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัย	35
4.3 การสำรวจความต้องการระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัย	36
4.4 การสำรวจความคิดเห็นในการเปลี่ยนแปลงวิธีการเดินทางมาใช้บริการรถไฟฟ้า สาธารณะ	36
4.5 การสำรวจความคิดเห็นใดที่ทำให้ท่านต้องหันไปใช้ระบบขนส่งสาธารณะ	37
4.6 การสำรวจความคิดเห็นในการเปลี่ยนแปลงวิธีการเดินทางมาใช้บริการระบบรถไฟฟ้า สาธารณะ	37
4.7 ข้อมูลการสำรวจความคิดเห็นใดที่ทำให้ท่านต้องหันไปใช้ระบบขนส่งสาธารณะ ...	38
4.8 แสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการหาคำตอบของ LS และ ILS	41
4.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยโดยใช้ ILS ในปัญหาขนาดเล็ก	41
4.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยโดยใช้ ILS ในปัญหขนาดกลาง.....	41
4.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยโดยใช้ ILS ในปัญหขนาดใหญ	42
4.12 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการหาคำตอบของ ACO.....	43
4.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยโดยใช้ ACO ของปัญหขนาดกลาง	44
4.14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยโดยใช้ ACO ของปัญหขนาดใหญ.....	45
4.15 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในวันจันทร์	50
4.16 ตัวอย่างความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยของวันจันทร์	61
4.17 ค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดของประชากรในแถวคอยทั้ง 7 วัน	61

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างการเดินทางของปัญหา TSP แบบ 5 จุด แบบที่ 1	6
2.2 ตัวอย่างการเดินทางของปัญหา TSP แบบ 5 จุด แบบที่ 2	6
2.3 ระดับขั้นของ Optimization Algorithms	10
2.4 พฤติกรรมการเลือกเส้นทางของมด	15
3.1 การหาระยะทางระหว่างจุดจุดใน Google Map	26
3.2 ขั้นตอนการทำงานของ LS	27
3.3 ขั้นตอนการทำงานของ ILS	28
3.4 ขั้นตอนออกแบบเส้นทางและจุดจอดของรถไฟฟ้าที่เหมาะสม	31
4.1 ผลกระทบจากปัจจัยหลักของปัญหามานกลาง โดยใช้ ILS	40
4.2 ผลกระทบจากปัจจัยหลักของปัญหามานกลางโดยใช้ ILS	41
4.3 ผลกระทบจากปัจจัยหลักของปัญหามานกลางใหญ่โดยใช้ ILS	42
4.4 ผลกระทบจากปัจจัยหลักของปัญหามานกลาง	44
4.5 ผลกระทบจากปัจจัยหลักของปัญหามานกลางใหญ่	45
4.6 ระยะทางที่ต่ำที่สุดจากการทดลองในปัญหามานกลาง	46
4.7 ระยะทางที่ต่ำที่สุดเฉลี่ยจากการทดลองในปัญหามานกลาง	46
4.8 ระยะทางที่ต่ำที่สุดจากการทดลองในปัญหามานกลาง	47
4.9 ระยะทางที่ต่ำที่สุดเฉลี่ยจากการทดลองในปัญหามานกลาง	47
4.10 ระยะทางที่ต่ำที่สุดจากการทดลองในปัญหามานกลางใหญ่	48
4.11 ระยะทางที่ต่ำที่สุดเฉลี่ยจากการทดลองในปัญหามานกลางใหญ่	49
4.12 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอกอยวันจันทร์ ที่ จุด P	52
4.13 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอกอยวันจันทร์เฉลี่ย 11 จุด	52
4.14 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอกอยวันอังคาร ที่ จุด P	53
4.15 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอกอยวันวันอังคารเฉลี่ย 11 จุด	53
4.16 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอกอยวันพุธ ที่ จุด P	54
4.17 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอกอยวันวันพุธเฉลี่ย 11 จุด	54
4.18 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอกอยวันพฤหัสบดี ที่ จุด P	55
4.19 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอกอยวันวันพฤหัสบดีเฉลี่ย 11 จุด	55

สารบัญรูป (ต่อ)

4.20	แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอคอยวันศุกร์ ที่ จุด P	56
4.21	แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอคอยวันวันศุกร์เฉลี่ย 11 จุด	57
4.22	แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอคอยวันเสาร์ ที่ จุด P.....	58
4.23	แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอคอยวันวันเสาร์เฉลี่ย 11 จุด.....	58
4.24	แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอคอยวันอาทิตย์ ที่ จุด P.....	59
4.25	แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอคอยวันวันอาทิตย์เฉลี่ย 11 จุด.....	59
4.26	แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นประชากรวันจันทร์ที่ จุด P.....	61
4.27	แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นประชากรวันจันทร์เฉลี่ย 11 จุด	62
4.28	แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นประชากรวันอังคารที่ จุด P	62
4.29	แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นประชากรวันอังคารเฉลี่ย 11 จุด	63
4.30	แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นประชากรวันพุธที่ จุด P.....	64
4.31	แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นประชากรวันพุธเฉลี่ย 11 จุด.....	64
4.32	แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นประชากรวันพฤหัสบดีที่ จุด P.....	65
4.33	แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นประชากรวันพฤหัสบดีเฉลี่ย 11 จุด.....	65
4.34	แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นประชากรวันศุกร์ที่ จุด P.....	66
4.35	แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นประชากรวันศุกร์เฉลี่ย 11 จุด.....	66
4.36	แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นประชากรวันเสาร์ที่ จุด P	67
4.37	แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นประชากรวันเสาร์เฉลี่ย 11 จุด	68
4.38	แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นประชากรวันอาทิตย์ที่ จุด P	69
4.39	แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นของประชากรวันอาทิตย์เฉลี่ย 11 จุด.....	69

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันในจังหวัดเพชรบูรณ์มีการจราจรหนาแน่น เนื่องจากการขยายตัวของเมือง และจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัยของผู้ใช้รถใช้ถนน ยิ่งในช่วงเวลาเร่งด่วนจะพบว่า มีการจราจรที่คับคั่งทำให้เพิ่มอัตราความเสี่ยงที่จะเกิดอุบัติเหตุ จากข้อมูลสถิติของจำนวนการเกิดอุบัติเหตุภายในจังหวัดเพชรบูรณ์ของเว็บไซต์ของศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุของประเทศไทยพบว่าในจังหวัดเพชรบูรณ์มีอุบัติเหตุเกิดขึ้น 396 ครั้ง ซึ่งถ้าหากพิจารณาเพียงอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นภายในอำเภอเมืองจะพบว่ามีความถี่สูงถึง 252 ครั้ง ซึ่งมีบริเวณที่เกิดขึ้นบ่อยคือ บริเวณ ถนนเพชรเจริญที่อยู่ในเขตตัวเมืองที่มีจำนวนผู้ใช้รถใช้ถนนที่หนาแน่นตลอดทั้งวัน และ ถนนสระบุรี – หล่มสัก ซึ่งเป็นที่รวมของสถานที่ราชการและสถานศึกษา ทำให้ในช่วงเช้า และเย็นมีรถหนาแน่นจำนวนมาก มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์เป็นสถานศึกษาที่มีนักศึกษาและบุคลากรจำนวนมาก ซึ่งทำให้มีผลต่อการเพิ่มจำนวนของผู้ใช้รถในเส้นทางดังกล่าว ดังนั้นควรต้องมีการแก้ปัญหาอย่างเร่งด่วน ซึ่งทางจังหวัดเพชรบูรณ์ได้มีมาตรการและนโยบายในการป้องกันอุบัติเหตุ เช่น การเข้มงวดในเรื่องการบังคับใช้กฎหมาย การรณรงค์ให้ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์สวมหมวกนิรภัย การเพิ่มจำนวนเจ้าหน้าที่เพื่ออำนวยความสะดวกในช่วงเวลาเร่งด่วน ฯลฯ แต่ถึงอย่างไรในการแก้ปัญหาดังกล่าวก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาอุบัติเหตุไม่ได้ว่าเป็นที่น่าพึงพอใจ เพราะจำนวนรถก็ยังไม่ลดจำนวนลงมีแต่จะเพิ่มจำนวนขึ้น ทางมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ก็มีนโยบายในการลดการใช้พลังงาน โดยสำนักอธิการบดีและสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ได้ทดลองนำรถไฟฟ้าขนาดเล็กมาวิ่งในมหาวิทยาลัย

ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวอย่างบูรณาการและยั่งยืน โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองสถานการณ์ในการนำรถที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามาใช้ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพื่อลดการเกิดอุบัติเหตุจากการใช้รถและส่งเสริมให้ใช้รถขนส่งสาธารณะเพิ่มขึ้น เพราะจากการศึกษาพบว่า การเดินทางสัญจรของนักศึกษาและบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ส่วนใหญ่จะใช้รถจักรยานยนต์ รถยนต์ส่วนบุคคลเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดปัญหาการจราจร ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย รวมทั้งทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและมลพิษทางอากาศ ดังนั้นหากนำรถไฟฟ้าสาธารณะมาให้บริการในการเดินทางภายในมหาวิทยาลัยจะสามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการวางแผนที่มีประสิทธิภาพ งานวิจัยชิ้นนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนประกอบหลัก ดังนี้ ส่วนที่ 1 คือศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างระบบรถไฟฟ้าในมหาวิทยาลัย

ส่วนที่ 2 คือการประยุกต์ใช้ วิธีการเมตาฮิวริสติกอัลกอริทึม (Metaheuristic Algorithms) เพื่อหาเส้นทางและจุดจอดของรถไฟฟ้าที่เหมาะสม และส่วนที่ 3 คือสร้างแบบจำลอง (Model) เพื่อใช้หาจำนวนรถไฟฟ้า จำนวนความถี่ในแต่ละวัน โดยสร้างแบบจำลองจะสามารถศึกษาและอธิบายสถานการณ์ที่เหมือนจริงโดยที่ไม่จำเป็นต้องสร้างเหตุการณ์จริงขึ้นมา ซึ่งถ้าหากสามารถส่งเสริมให้นักศึกษาและบุคลากรของมหาวิทยาลัยใช้ระบบการขนส่งได้ ก็อาจทำให้ผู้ใช้รถใช้ถนนในเส้นทางดังกล่าวลดลงและความเสี่ยงของอุบัติเหตุก็จะลดลงด้วยเช่นกัน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้ระบบขนส่งสาธารณะ
- 2.2 เพื่อสร้างแบบจำลองของระบบการขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- 2.3 ศึกษาแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างระบบขนส่งสาธารณะภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

3. สมมติฐาน

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วิธีการสร้างแบบจำลองและเมตาฮิวริสติกอัลกอริทึม เพื่อออกแบบและหาความเป็นไปได้ในการสร้างระบบการขนส่งด้วยรถไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ โดยสามารถแบ่งสมมติฐานออกเป็น 3 หัวข้อ คือ

- 3.1 นักศึกษาในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์มีความต้องการระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัย
- 3.2 สามารถประยุกต์ใช้วิธีการเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) เพื่อหาเส้นทางการวิ่งที่สั้นที่สุดของรถไฟฟ้า
- 3.3 การจำลองสถานการณ์สามารถออกแบบความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการเดินรถไฟฟ้าสาธารณะ

4. ระเบียบวิธีวิจัย

4.1 วิธีการวิจัยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้แบ่งวิธีการออกเป็นวัตถุประสงค์ โดยในการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้ระบบขนส่งสาธารณะ ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการวิจัยเชิงสำรวจ ส่วนในการออกแบบเส้นทางเดินรถไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการวิจัยแบบทดลอง เนื่องจากการสร้างแบบจำลองและการประยุกต์ใช้วิธีการเมตาฮิวริสติกส์ ผลลัพธ์ที่ได้จะออกมาเป็นแบบประมาณค่า

ทางเลือกให้แก่ผู้ตัดสินใจ ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองเพื่อศึกษา ข้อดี ข้อเสีย ของแต่ละทางเลือก เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบระบบการเดินรถของรถไฟฟ้า

4.2 แหล่งข้อมูลสำหรับการหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้ระบบรถไฟฟ้า จะเก็บข้อมูลจากนักศึกษาและบุคลากรในมหาวิทยาลัย ในส่วนของเส้นทางระหว่างแต่ละจุดจอดของรถไฟฟ้า ทำได้โดยใช้โปรแกรม google map (<https://maps.google.co.th>) เพื่อใช้หาเส้นทางที่สั้นที่สุดเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณ

4.3 ประชากรที่จะศึกษา แบ่งออกเป็น บุคคล 3 กลุ่ม คือ 1.นักศึกษา 2.บุคลากร และบุคคลทั่วไปที่เข้ามาติดต่อธุระในมหาวิทยาลัย

4.4 นักศึกษา 85 %

4.5 บุคลากรของมหาวิทยาลัย 13 %

4.6 บุคคลทั่วไป 2%

4.7 วิธีการเก็บข้อมูล การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้ระบบขนส่งสาธารณะ ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการวิจัยเชิงสำรวจใช้แบบสอบถามในการเก็บข้อมูล ส่วนในขั้นตอนของการออกแบบเส้นทางและกำหนดการณ์การเดินรถไฟฟ้าไม่มีการเก็บข้อมูล

4.8 การประมวลผลข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้ระบบขนส่งสาธารณะ ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการวิจัยเชิงสำรวจ และใช้ขั้นตอนทางสถิติในการประมวลผลผลลัพธ์ ส่วนขั้นตอนของการออกแบบเส้นทางและกำหนดการณ์การเดินรถไฟฟ้าใช้การเขียนโปรแกรมและการจำลองเพื่อหาผลลัพธ์

5. ขอบเขตของโครงการวิจัย

5.1 ประยุกต์ใช้ Metaheuristic Algorithms ในการหาเส้นทางที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการสร้างของระบบการขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

5.2 สร้างแบบจำลองของระบบการขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ โดยอาศัยการสร้างตัวแบบ (Model) จากซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

5.3 เนื่องจากข้อมูลนำเข้าเป็นข้อมูลของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จะเป็น ผลลัพธ์ที่จะนำมาใช้กับมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์เท่านั้น แต่ตัวโมเดลสามารถประยุกต์ใช้หรือเป็นแนวทางในการศึกษาระบบขนส่งมวลชนในพื้นที่อื่นได้

5.4 การจำลองสถานการณ์จะมีลักษณะเป็น Discrete Event

6. นิยามศัพท์

6.1 เมตาฮิวริสติกส์ วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการประมาณ (Approximation Optimization Algorithms AOA) รวมไปถึงยังมีกลยุทธ์สำหรับการหลีกเลี่ยงไม่ให้คำตอบไปติดอยู่ที่คำตอบที่ดีที่สุดของย่านคำตอบใกล้เคียง ซึ่งเหมาะสมกับการนำไปใช้แก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนสูงแต่คำตอบที่ได้จากนั้นอาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด แต่ก็ยังเป็นคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดได้

6.2 วิธีแอนท์โคโลนีออปติไมเซชัน (Ant Colony Optimization; ACO) เป็นวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดรูปแบบหนึ่งในสาขาเมตาฮิวริสติกส์ ที่ได้แนวคิดมาจากการเลียนแบบพฤติกรรม การหาอาหารของมด

6.3 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem:TSP) ในทฤษฎี TSP เป็น กลวิธีในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงการจัดการ ที่ศึกษากันใน สาขาการวิจัยดำเนินงาน และ วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ โดยให้การเดินทางของพนักงานขาย เดินทางไปยังกลุ่มของเมืองให้ครบทุกเมืองแล้ว ตั้งคำถามว่า ถ้าหากต้องเดินทางผ่านทุกเมือง จะต้องใช้เส้นทางไหนถึงจะสั้นที่สุด

6.4 โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยดำเนินงาน ใช้สำหรับแก้ปัญหาทางการจัดสรรปัจจัยหรือทรัพยากรที่มีอยู่จำกัด เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

7.1 แบบจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์ที่สามารถนำไปใช้ศึกษาแนวทางในการสร้างระบบการขนส่งสาธารณะโดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์และสถิติมาอธิบายสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นเมื่อนำระบบขนส่งสาธารณะมาใช้

7.2 เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการจราจรการลดใช้พลังงาน ลดความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุ และมลพิษในมหาวิทยาลัยและบริเวณชุมชนใกล้เคียงแบบบูรณาการอย่างยั่งยืน

7.3 เพื่อเป็นแนวทางส่งเสริมให้มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์เป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว

7.4 เพื่อการบูรณาการงานวิจัยการเรียนการสอน

7.5 เพื่อเป็นการส่งเสริมนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการใช้ระบบรถไฟฟ้าร่วมกับการท่องเที่ยวในจังหวัดเพชรบูรณ์

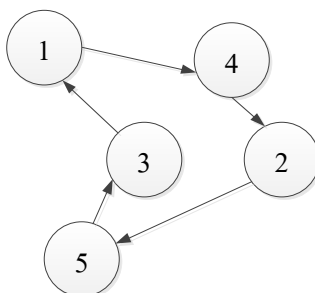
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

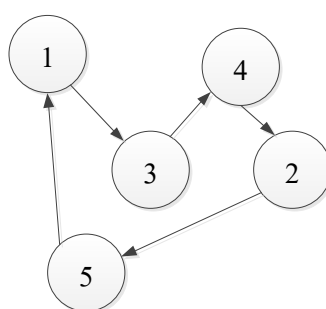
ในงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการออกแบบเส้นทางและกำหนดการณ์การเดินทางรถไฟฟ้าในมหาวิทยาลัย โดยแบ่งเป็นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของในส่วนของปัญหาการออกแบบเส้นทางของรถไฟฟ้า ซึ่งผู้วิจัยได้นำปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling salesman problems) วิธีการเมตาฮิวริสติก รวมถึงวิธีการสร้างตัวแบบจำลอง (Simulation) มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเส้นทางรถโดยสาร ดังนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อประกอบด้วย เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย เมตาฮิวริสติก และ การจำลอง (Simulation)

1. ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling salesman problems)

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) เป็นหนึ่งในปัญหา ที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยเพื่อใช้ต่อยอดในการประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น การจัดการ การขนส่ง และอื่นอีกมากมายในทางทฤษฎี TSP เป็น กลวิธีในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงการจัดการ (Combinatorial Optimization) ที่ศึกษากันใน สาขาการวิจัยดำเนินการ (Operations Research) และ วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ (Theoretical Computer Science) โดยให้การเดินทางของพนักงานขาย เดินทางไปยังกลุ่มของเมืองให้ครบทุกเมืองแล้ว ตั้งคำถามว่า ถ้าหากต้องเดินทางผ่านทุกเมือง จะต้องใช้เส้นทางไหนถึงจะสั้นที่สุด ที่ผ่านมานักวิทยาศาสตร์ได้ พัฒนาการในการหาคำตอบให้ดีขึ้นและรวดเร็ว ในการแก้ปัญหาพนักงานขาย จะต้อง เดินทางไปในกลุ่มเมืองจำนวน n เมือง พนักงานจะต้องเริ่มเดินทางจากเมืองใดเมืองหนึ่ง ไปยังอีกเมืองหนึ่งโดยมีเงื่อนไขว่าต้องเดินทางผ่านทุกเมือง เป็นจำนวน n เมืองจากนั้นกลับมาที่เมืองเริ่มต้น เช่น พนักงานขายต้องเดินทางไปยัง 5 เมืองเพื่อขายสินค้า โดยพนักงานขายต้องเริ่มเดินทางจากเมืองที่ 3 ซึ่งเป็นเมืองที่พนักงานขายอาศัยอยู่ ดังนั้นพนักงานอาจจะวางแผนการเดินทางดังภาพที่ 1 ก. ซึ่งพนักงานจะต้องเดินทางขายตั้งแต่เมืองที่ 3 ให้ครบทุกเมืองแล้วกลับมาเมืองที่ 3 จะได้ระยะทาง เป็นระยะ k_1 กิโลเมตร แต่ถ้าหากรูปแบบการเดินทางเปลี่ยนไป ดังภาพที่ 2 ข. ระยะทางอาจจะเปลี่ยนไปเป็น k_2 กิโลเมตร ซึ่งอาจจะเพิ่มขึ้น ลดลง หรืออาจจะเท่าเดิมก็ได้ ปัญหา TSP นี้ สามารถแยกย่อยออกเป็นปัญหาต่างๆ อีกมากมาย โดยผู้อ่านสามารถอ่านเพิ่มเติมได้ที่ Applegate et al. (2006)



ภาพที่ 2-1 ก ตัวอย่างการเดินทางของปัญหา TSP แบบ 5 จุด แบบที่ 1



ภาพที่ 2-2 ข ตัวอย่างการเดินทางของปัญหา TSP แบบ 5 จุด แบบที่ 2

1.1 ลักษณะของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

ลักษณะของปัญหา TSP สามารถอธิบายได้โดยกำหนดให้โครงข่ายแทนด้วยกราฟ $G = (V, A)$ เมื่อ V เป็นเซตของโหนดทั้งหมด V โหนด ประกอบด้วยพนักงานขายและลูกค้าโดยที่ A คือเส้นเชื่อมระหว่างโหนดเรียกว่าอาร์ค (Arc) โดยที่ $A = \{i, j\}$ ที่มีระยะทาง C_{ij} ในแต่ละเส้นทาง (i, j) ของ A เขียนได้ในรูปของเมตริกซ์ $C = C_{ij}$ โดยที่แต่ละรอบการเดินทางต้องเริ่มต้นและจบลงที่โหนดเริ่มต้นเสมอ ในแต่ละรอบการเดินทางต้องผ่านไปยังทุกโหนด $i; i = 1, \dots, n$ เพียงหนึ่งครั้ง ปัญหา TSP สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ประเภทแรกระยะทางไปและกลับมีระยะทางที่เท่ากัน เรียกว่าแบบสมมาตร (Symmetrical distance matrix) ส่วนในประเภทที่สองระยะทางระหว่างการเดินทางไปและกลับมีระยะทางไม่เท่ากัน (Asymmetrical distance matrix)

รูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ของปัญหา TSP Bodin et al. (1983) ได้กล่าวถึงรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหา TSP ไว้ดังนี้

Minimize

$$\text{Min} Z \quad z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq |S| - 1 \quad i \in S, j \in S \quad (4)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \text{ for all } i, j \quad (5)$$

สมการที่ (4) การตรวจสอบ Sub tour อาจเขียนได้อีกรูปแบบหนึ่ง ดังนี้

$$u_i - u_j + Nx_{ij} \leq N - 1 \quad (\text{for } i \neq j; i = 2, 3, \dots, N; j = 2, 3, \dots, N)$$

ความหมายของตัวแปร

n = จำนวนโหนด

x_{ij} = ระยะทางของการเดินทางจาก i ไปยัง j

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการเดินทางจาก } i \text{ ไป } j \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

S = เซตของโหนดใน Sub tour หมายถึง ลำดับการเดินทางที่ไม่ผ่านจุดทั้ง

หมดแล้วเกิดการครบรอบ

$|S|$ = จำนวนโหนดใน Sub tour

u_i, u_j = ตำแหน่งใน Tour

N = จำนวนโหนดใน Sub tour

สมการที่ (1) คือเส้นทางเส้นทางที่สั้นที่สุด สมการที่ (2) และ สมการที่ (3) การเดินทางออกจากเมือง i ใดๆ ต้องมีค่าเท่ากับ 1 (เมืองใดเมืองหนึ่งเดินทางออกได้เพียงครั้งเดียว) ในขณะที่ มีการเดินทางเข้าเมือง j ได้เพียงครั้งเดียว สมการที่ (4) เป็นสมการป้องกันการเกิดการเดินทางย่อย (sub tour) การเกิดการเดินทางย่อยหมายความว่า การเดินทางเริ่มต้นจากเมืองใดเมืองหนึ่งแต่เดินทางไม่ครบทำให้เกิดทัวร์ย่อย สมการที่ (5) คือตัวแปรการตัดสินใจ

1.2 ตัวอย่าง ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

พนักงานขายรายหนึ่งต้องเดินทางไปเสนอขายสินค้ากับลูกค้า 5 ราย ระยะทางระหว่างเมืองที่อยู่ของลูกค้าแต่ละรายได้แสดงไว้ดังตารางที่ 1 (หน่วยเป็นกิโลเมตร) พนักงานขายรายนี้ควรเดินทางเส้นทางใดที่มีจุดประสงค์เพื่อให้ประหยัดต้นทุนในการเดินทาง โดยวิธีการที่เลือกใช้ในการคือวิธีการ Nearest Neighbour

i / j	1	2	3	4	5
1	0	20	40	45	32
2	20	0	36	43	37
3	40	36	0	41	25
4	45	43	41	0	19
5	32	37	25	19	0

วิธีการ Nearest Neighbour วิธีการ Nearest Neighbour หรือการเลือกเดินทางไปเมืองที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากเมืองปัจจุบัน โดยสามารถดำเนินการได้ดังนี้

- 1) เลือกตัวเลขที่น้อยที่สุดในตาราง และให้เมืองในตำแหน่งแถวเดินทางไปในตำแหน่งหลักนั้น (ยกเว้นเมื่อ $i = j$ เมื่อ i คือ แถว j คือหลัก)
- 2) เลือกเมืองในตำแหน่งหลักในข้อ 1 ให้เป็นในตำแหน่งแถว แล้วเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดจากเมืองนั้น (เมืองที่เดินทางผ่านมาแล้วให้ตัดออกไม่นำมารวมในการคำนวณ)
- 3) ดำเนินการซ้ำข้อ 2 จนกระทั่งทุกเมืองถูกเดินทางผ่าน
- 4) เชื่อมเส้นทางจากเมืองสุดท้ายไปเมืองในข้อ 1
- 5) คำนวณระยะทางรวมทั้งหมด

1.3 ตัวอย่างขั้นตอนการหาคำตอบ

1) เริ่มจากเลือกคู่ที่มีตัวเลขที่น้อยที่สุดในตาราง และให้เมืองนั้นเป็นเมืองเริ่มต้น ซึ่งเมืองที่มีระยะทางสั้นที่สุดได้แก่ เส้นทางที่เชื่อมระหว่างเมืองที่ 1 ไปยังเมือง 2 ดังนั้นเมืองเริ่มต้นคือเมืองที่ 1 ไปยัง เมืองที่ 2 มีระยะทาง 20 กิโลเมตร

2) จากเมืองที่ 2 หาตัวเลขที่น้อยที่สุด โดยเมืองที่ใกล้ที่สุดคือเมืองที่ 3 มีระยะทาง 36 กิโลเมตรดังนั้นเส้นทางที่ได้คือ 1-2-3 มีระยะทางรวม $20+36=56$

3) ขั้นตอนต่อมาคือต้องหาเส้นทางเดินทางออกจากเมืองที่ 3 ไปยังเมืองที่ใกล้ที่สุด โดยเมืองที่ใกล้เมืองที่ 2 ที่สุดคือเมืองที่ 5 มีระยะทาง 25 กิโลเมตร ดังนั้นเส้นทางที่ได้คือ 1-2-3-5 มีระยะทางรวม $20+36+25=81$

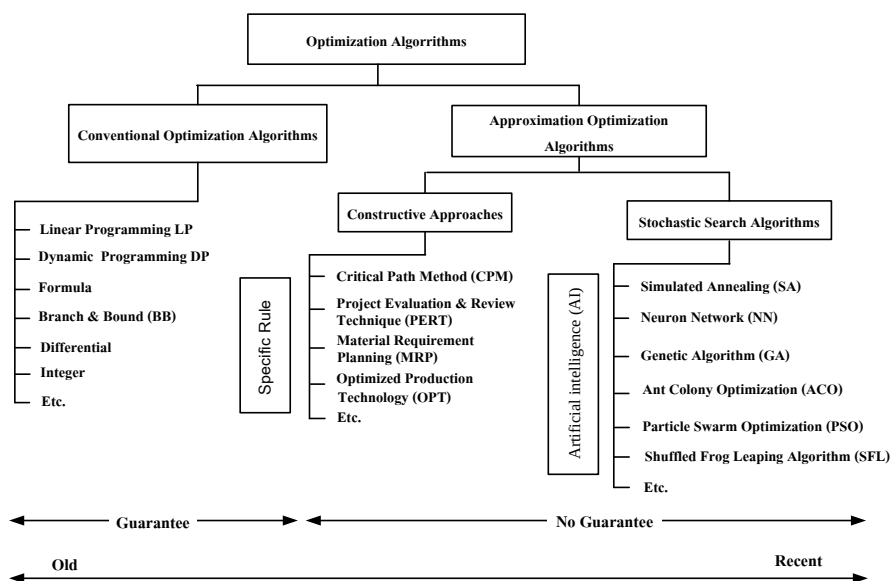
4) จากเมืองที่ 5 เมืองสุดท้ายที่ต้องเดินทางไปคือเมืองที่ 4 มีระยะทาง 19 กิโลเมตร แล้วเดินทางกลับไปเมืองที่ 1 เป็นระยะทาง 45 กิโลเมตร ดังนั้นเส้นทางที่ได้คือ 1-2-3-5-4-1 รวมเป็นระยะทาง $20+36+25+19+45 = 145$ กิโลเมตร

ปัญหา TPS จัดเป็นปัญหาการตัดสินใจที่มีขนาดใหญ่และสลับซับซ้อน (Large-Scale and Complex Decision Problem) หรือเรียกว่า “ปัญหาเอ็นพี” (NP-Problem) ซึ่งการหาคำตอบที่ดีที่สุดใช้เวลาในการประมวลผลสูง โดยเฉพาะการแก้โดยวิธีคณิตศาสตร์ที่ให้คำตอบอย่างถูกต้อง จึงมักนิยมแก้ปัญหาโดยวิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic Method) ซึ่งปัญหา NP เป็นปัญหาที่ต้องใช้เวลาการคำนวณสูง โดยที่เวลาการคำนวณจะเพิ่มขึ้นตามลักษณะเทอมแบบโพลิโนเมียล (n^c) โดยที่ c เป็นค่าคงที่ n เป็นขนาดของปัญหา

ปัญหา TSP ที่มีจำนวนเมือง 10 เมือง ต้องหาคำตอบด้วยการเรียงสับเปลี่ยน (Combinatory) เพื่อหาจำนวนเส้นทางเป็นจำนวน $(n-1)!$ ซึ่งผลลัพธ์ที่จะต้องคำนวณหาจะมีมากถึง 3,628,880 เส้นทางซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่มีขนาดใหญ่มาก หรือพิจารณาด้วยฟังก์ชันการเพิ่มขึ้นของเวลาในการหาคำตอบเท่ากับ $O(n^3)$ ถ้าหากคอมพิวเตอร์ใช้เวลา 1 วินาทีในการหาเส้นทาง ของปัญหาที่มีเมือง 10 เมือง ดังนั้นเวลาที่คอมพิวเตอร์ต้องใช้ในการหาผลลัพธ์ถ้าหากเมืองเพิ่มขึ้นมาเป็น 20 เมือง จะเท่ากับ $\frac{20^3}{10^3} = 8$ วินาที ซึ่งถือว่าเพิ่มขึ้นจากเดิม 7 เท่า (รพีพรรณ 2557)

2. วิธีการแก้ปัญหา

เทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization Algorithms) มีมากมายหลายวิธีที่ถูกประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบโดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือประเภทที่ 1 คือวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ (Conventional Optimization Algorithms: COAs) และประเภทที่ 2 คือวิธีการหาคำตอบโดยอาศัยหลักการประมาณ (Approximation Optimization Algorithms: AOAs) (ธนภัทร, 2556)



ภาพ 2-3 ระดับขั้นของ Optimization Algorithms

ที่มา: Pongcharoen, et al.

วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ เป็นวิธีที่นำหลักการทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการแก้ไขปัญหา วิธีการดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 เพื่อแก้ปัญหากระบวนการทำงานที่ซับซ้อนของกองทัพ ต่อมาได้มีผู้นำวิธีแก้ปัญหาดังกล่าวมาใช้กับปัญหาที่ซับซ้อนอื่นอีกมากมาย เช่น ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร ปัญหาการจัดตารางการทำงาน ปัญหาการจัดตารางการเรียนการสอน ตัวอย่างของวิธีการที่หลักการทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ วิธีการกำหนดการเชิงเส้นตรง (Simplex Algorithms) วิธีการกำหนดการพลวัต (Dynamic Programming) เป็นต้น จากการทดลองพบว่าส่วนใหญ่แล้ววิธี COAs มักจะเหมาะกับการแก้ปัญหาที่มีขนาดเล็ก ซึ่งถ้าหากมีการเพิ่มขนาดของปัญหา จะส่งผลให้การแก้ปัญหานั้นทำได้ยากและต้องใช้เวลาในการหาผลลัพธ์ที่มากขึ้นมาก ดังนั้นวิธีดังกล่าวจึงไม่เหมาะกับการแก้ปัญหามาก

วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการประมาณ (Approximation Optimization Algorithms AOs) เนื่องจากวิธีการ COAs ไม่เหมาะสมกับปัญหามากและมีความซับซ้อนสูง ดังนั้นจึงได้มีผู้คิดค้น AOs ขึ้นโดยที่รูปแบบในการค้นหาคำตอบ แบบอื่น AOs เป็นแบบสุ่ม (Stochastic Search) ซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้แก้ปัญหามากและมีความซับซ้อนสูง แต่คำตอบที่ได้จาก AOs นั้นอาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด แต่ก็เป็นคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดได้ (Near Optimum Solution) แต่ถ้าหากเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลพบว่า AOs สามารถหาคำตอบได้รวดเร็วกว่าวิธี COAs มาก เมตาฮิวริสติกส์ เป็นสาขาหนึ่งของ AOs ที่

สามารถหาผลลัพธ์ได้อย่างรวดเร็ว รวมไปถึงยังมีกลยุทธ์สำหรับการหลีกเลี่ยงไม่ให้คำตอบไปติดอยู่ที่คำตอบที่ดีที่สุดของย่านคำตอบใกล้เคียง วิธีการแก้ปัญหาในสาขาเมตาฮิวริสติกส์มีอยู่หลายวิธี ตัวอย่างเช่น วิธีเชิงพันธุกรรม วิธีการค้นหาคำตอบแบบ วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยระบบอณูจักรมค เป็นต้น ถึงวิธีในสาขาเมตาฮิวริสติกส์จะมีอยู่หลายวิธี ในแต่ละวิธีก็มีจุดเด่นและจุดด้อยแตกต่างกันไป ดังนั้นในการแก้ปัญหาควรเลือกวิธีการเมตาฮิวริสติกส์ที่เหมาะสมกับปัญหานั้นๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดี (ธนภัทร, 2556)

2.1.1 ทาบูเสิร์ช (Tabu Search) ถูกพัฒนาขึ้นโดย Glover (1986) และ Hansen (1986) เพื่อใช้แก้ปัญหา การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบ Combinatorial Optimization problem ซึ่งมีความสามารถในการขจัดปัญหาการค้นหาค่าเฉพาะพื้นที่ (Local optimal) ได้ ดังนั้น TS จึงสามารถค้นหาค่าที่เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด (Global Optimum) ในพื้นที่การหาค่าเฉพาะพื้นที่จะอยู่ระหว่างการประเมินค่าผลเฉลย ซึ่งจะเลือกผลเฉลยที่มีการประเมินค่าสูงที่สุดในแต่ละรอบของการทำงาน (iteration) หมายถึงว่าจะเคลื่อนย้าย (Move) จากผลเฉลยปัจจุบันไปยังผลเฉลยบริเวณใกล้เคียง (Neighborhood) ที่ให้ผลดีที่สุด โดยดูจากค่าฟังก์ชันเป้าหมายและกฎการควบคุมของทาบู (Tabu restrictions)

ฟังก์ชันการประเมินค่าจะเลือกทำการเคลื่อนย้ายที่ทำให้เกิดการปรับปรุงค่าในฟังก์ชันเป้าหมายมากที่สุด หรือลดค่าฟังก์ชันเป้าหมายให้น้อยที่สุด นอกจากนี้จะมีรายการต้องห้าม (Tabu list) ซึ่งจะเก็บผลเฉลยที่เคยผ่านการยอมรับและได้ทำการเคลื่อนย้ายไปแล้ว เพื่อหลีกเลี่ยงการเคลื่อนย้ายไปยังที่เดิมในการทำงานในรอบต่อไป หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่ารายการต้องห้ามจะชี้นำทางว่ามีผลเฉลยให้ดีขึ้นหรืออาจจะถูกยอมรับได้ในการทำงานของ TS จึงเป็นไปได้ว่าจะทำให้เกิดปัญหาการรวมซ้ำในพื้นที่เดิม (Cycling problem) ดังนั้นรายการต้องห้ามจึงถูกใช้เพื่อขจัดปัญหานี้ กลยุทธ์นี้จะถูกเรียกว่ากลยุทธ์แบบต้องห้าม (Forbidding strategy) ดังนั้นเส้นทางที่เคยผ่านมาแล้วจะถูกหลีกเลี่ยงทำให้เกิดการขยายเขตของการค้นหาไปยังพื้นที่ใหม่

2.1.2 ซิมูเลตเตดแอนนีลิ่ง (Simulated Annealing : SA) ถูกพัฒนาขึ้นโดย Kirkpatrick, Gelatt and Vecchi (1983) ขั้นตอนวิธีนี้มี พื้นฐานการทำงานมาจากการอุปมาอุปไมยระหว่างกรอบอ่อนโลหะกับการแก้ปัญหาแบบการหาค่าเหมาะสมที่สุดเชิงการจัดการ (Combinatorial Optimization problem) Annealing คือ กระบวนการอบเหนียวซึ่งเป็นการลดอุณหภูมิระหว่างการหลอมโดยจะให้ความร้อนและมีการลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ จะกระทั่งโลหะอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือได้โลหะที่เหนียวไม่เปราะ โดยอะตอมจะมีพลังงานสูงเมื่ออยู่ในอุณหภูมิที่สูง และจะมีอิสระในการจัดเรียงตัวมาก เมื่อมีการลดอุณหภูมิพลังงานก็จะลดลงตามไปด้วย โครงสร้าง

ของโลหะจะจัดเข้าไปอย่างเป็นระเบียบเมื่อระบบมีพลังงานต่ำที่สุด ถ้ามีการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วหรือทำให้เย็นตัวเร็วเกินไป ก็จะทำให้ โครงสร้างของโลหะไม่สม่ำเสมอและเกิดเป็นรอยร้าวได้ การอุปมาอุปไมยระหว่างการแก้ปัญหาแบบการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเชิงการจัดการกับกระบวนการ Annealing คือ สถานะของโลหะจะแทนผลเฉลยที่เป็นไปได้สำหรับปัญหาที่ต้องการหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด สถานะของพลังงานจะเสมือนเป็นค่าของฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) หรือฟังก์ชันต้นทุน (Cost function) ที่คำนวณได้จากผลเฉลยนั้น ๆ ดังนั้นสถานะของพลังงานที่ต่ำที่สุดก็จะเปรียบเสมือนผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดของปัญหา และการทำให้เย็นลงเร็วเกินไป ก็คือการค้นหาผลเฉลยเฉพาะพื้นที่

ขั้นตอนวิธีในการทำงานจะเป็นลำดับการทำงานแบบวนซ้ำ โดยในแต่ละรอบจะประกอบด้วยการเล่นแปลงแบบสุ่มจากผลเฉลยปัจจุบันเพื่อสร้างผลเฉลยใหม่ที่ใกล้เคียง (Neighbourhood) กับผลเฉลยปัจจุบัน (Current solution) เมื่อผลเฉลยถูกสร้างขึ้นจะคำนวณค่าของฟังก์ชันเป้าหมายหรือฟังก์ชันต้นทุน เพื่อตัดสินใจว่าจะยอมรับให้เป็นผลเฉลยปัจจุบันแทน แต่ถ้าผลเฉลยใหม่ได้ดีกว่าผลเฉลยเดิมก็อาจจะถูกยอมรับได้ โดยใช้กฎพื้นฐานความน่าจะเป็นของโบลต์ซมันน์ (Boltzman's probability) คือ จะมีการสุ่มตัวเลข δ ในช่วง 0-1 ขึ้นมาและ $\delta \leq e^{-\Delta c/t}$ ก็จะยอมรับผลเฉลยใหม่ (Δc คือ ผลต่างระหว่างค่าฟังก์ชันต้นทุนของผลเฉลยทั้งสองซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และ T คืออุณหภูมิ)

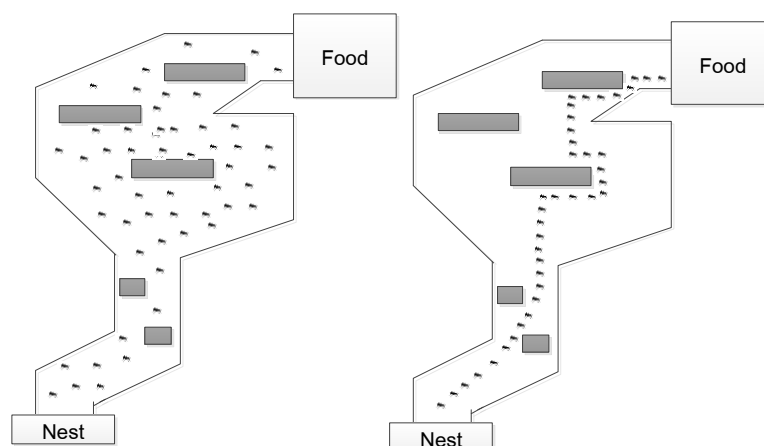
หากนำ SA มาแก้ปัญหการจัดตาราง อาจพิจารณาว่ามี Objects ที่ต้องจัดตารางอยู่จำนวนหนึ่ง โดยเป้าหมายคือต้องการหาตารางทำให้ได้ค่าฟังก์ชันต้นทุนหรือ (ฟังก์ชันเป้าหมาย) ต่ำสุด ตารางเริ่มต้นที่จะถูกสร้างขึ้นโดยการสุ่มจัดตารางของ Objects เหล่านั้นส่วนค่าเริ่มต้นของฟังก์ชันต้นทุน (C_0) และ อุณหภูมิ (T_0) จะถูกคำนวณค่าออกมา ลำดับต่อไปก็จะมีการสร้างตารางใหม่โดยวิธีการสุ่ม Objects แล้วทำการสลับที่การจัดเรียงจากนั้นทำการคำนวณค่าฟังก์ชันต้นทุนที่เปลี่ยนไป (Δc) ถ้า $\Delta c \leq 0$ ตารางใหม่ก็จะถูกยอมรับอย่างไรก็ตาม ถ้า $C \leq e^{-\Delta c/t}$ และทำการสุ่มตัวเลข δ ในช่วง 0-1 ถ้า $\delta \leq e^{-\Delta c/t}$ ตารางใหม่ก็จะถูกยอมรับและหลังจากดำเนินการสลับที่ในตาราง อุณหภูมิก็จะลดลงด้วยอัตราการลดอุณหภูมิที่กำหนด R โดย $T_n = T_{n-1} * R$ เมื่อ $0 \leq R < 1$ และ T เป็นเลขจำนวนจริง (คนณ, 2552)

2.1.3 นิวรอนเน็ตเวิร์ค (Neural Network NN) ปี 1943 Warren S McCulloch and Waller H pitt ได้แสดงรูปแบบการคำนวณของกลุ่มนิวตรอน ที่เรียงเป็นเครือข่ายเอาไว้ ซึ่งก็คือเป็นจุดกำเนิดของ NN ซึ่งการริเริ่มในครั้งนั้น ทำให้เดวิดเกี่ยวกับ NN ในปี 1960 ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากมายในวงการของ NN แต่ไม่ประสบความสำเร็จเท่าใดนัก เนื่องจากว่ามีการแก้ปัญหาด้วยเครือข่ายชั้นเดียว (Single layer network) อย่างไรก็ดีในปี 1966 Osman and Laporte

แก้ส ที่ไม่ได้เตรียมตัวกันมาก่อน ได้แสดงถึงสิ่งต่างๆ ที่เป็นสิ่งปฏิกษยที่มีความคล้ายคลึงกัน ระหว่างการเล่นดนตรีที่ไม่ได้มีการเตรียมตัวกันมาก่อน การหาค่าที่ดีที่สุด (Engineering Optimization) ปกติแล้วการที่จะปรับแต่งทำนองประสานเสียงนั้นจะขึ้นอยู่กับผู้เล่นแต่ละคนที่จะปรับเปลี่ยนได้ในขอบเขตที่สามารถทำได้ ซึ่งหมายถึงเป็นการสร้าง Harmony Vector ขึ้นมาหนึ่งอัน ถ้าปรับเปลี่ยนได้ในขอบเขตที่สามารถทำได้ ซึ่งหมายถึงเป็นการสร้าง Harmony Vector ขึ้นมาหนึ่งอัน ถ้าการปรับระดับทำให้การประสานเสียงดีขึ้น ประสพการณ์ที่ได้จากการปรับนั้นจะถูกเก็บไว้ในข้อมูล ความทรงจำของผู้เล่น และมีความเป็นไปได้ที่จะสร้างการประสานเสียงที่ดีขึ้นได้อีกในครั้งต่อไป ซึ่งเหมือนกับการหาค่าที่ดีที่สุดทางวิศวกรรม (Engineering Optimization) ตัวแปรในการตัดสินใจต่างๆ ในขั้นต้นจะถูกเลือกจากค่าต่างๆ ที่สามารถเป็นไปได้ซึ่งผลลัพธ์ที่ออกมาจะเป็นทิศทางของคำตอบที่เกิดขึ้น (Solution Vector) ซึ่งคำตอบที่ได้นั้นก็就会被เก็บไว้เป็นตัวแปรในระบบความจำ (Variable's Memory) และ ก็มีความเป็นไปได้ที่จะสร้างคำตอบที่ดีขึ้นในครั้งต่อไป

ถึงแม้ว่าการประสานเสียงนั้นเป็นหลักของความงามเป็นนามธรรมแต่ในทางตรงกันข้าม การประสานเสียงและเครื่องดนตรีทำให้เกิดอัตราความถี่ ซึ่งเป็นการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ธรรมดาเกิดขึ้นหลังจากการวิจัยต่างๆ พบว่าความแตกต่างระหว่างตัวโน้ตนั้นเป็นสัดส่วนของกันและกันมีทิศทางของคำตอบที่เกิดขึ้น (G.Z.,woo,2005)

2.1.6 วิธีแอนท์โคโลนีออปติไมเซชัน (Ant Colony Optimization; ACO) เป็นวิธีการที่ได้แนวคิดมาจากการเลียนแบบพฤติกรรมของมดจริงๆ ในธรรมชาติมดสามารถเดินทางไปยังแหล่งอาหารและกลับมาสู่รังได้ โดยมดจะเลือกเส้นทางที่ใช้เดิน ให้มีระยะทางรวมเป็นระยะทางที่สั้นที่สุด หลักพื้นฐานคือ ขณะเดินมดแต่ละตัวจะทิ้งสารฟีโรโมน (Pheromone) ไว้บนพื้นที่เดินผ่าน สารฟีโรโมนเป็นฮอร์โมนซึ่งมดสร้างขึ้นเพื่อใช้ติดต่อทางอ้อมระหว่างมด มดแต่ละตัวจะใช้วิธีการเคาะคู่เพื่อเลือกเส้นทาง แต่เมื่อพบร่องรอยของสารฟีโรโมนในเส้นทางไหน มดตัวนั้นก็มีความน่าจะเป็นที่จะเลือกเดินเส้นทางดังกล่าว เมื่อมดพบอาหารแล้ว มดก็จะกลับรังในเส้นทางเดิมพร้อมทั้งทิ้งสารฟีโรโมนเพิ่มอีก เมื่อมดตัวอื่นๆ ในบริเวณใกล้เคียงได้กลิ่นจะถูกดึงดูดจากสารฟีโรโมนบนทางเดิน มดก็จะเลือกเส้นทางดังกล่าวทวีมากขึ้น มีผลให้จำนวนสารฟีโรโมนในเส้นทางนั้นมากยิ่งขึ้น เส้นทางที่สั้นที่สุดจึงมีฟีโรโมนมากกว่าเส้นทางอื่นๆ พฤติกรรมเลือกเส้นทางของมดแสดงดังรูป 2-1



ภาพที่ 2-4 พฤติกรรมการเลือกเส้นทางของมดแสดงดังรูป 2-1

วิธีค้นหาคำตอบของปัญหาโดยแอนท์โคโลนีออปติไมเซชัน (Ant Colony Optimization; ACO) มีวิวัฒนาการมาเป็นลำดับซึ่งสามารถ แยกออกเป็นวิธีต่างๆ ประกอบด้วย Ant System (AS) Elitist Ant System (EAS) Rank-based Ant System (AS-rank) Max-Min Ant System (MMAS) และ Ant Colony System (ACS) โดยพื้นฐานวิธี ACO ใช้เทคนิคการค้นหา (Searching) คำตอบของปัญหา โดยเลียนแบบพฤติกรรมการสร้างเส้นทางค้นหาแหล่งอาหารและเดินทางกลับรังของฝูงมด วิธีนี้ถือเป็นวิธีฮิวริสติกส์แบบ Solution Construction โดยเมื่อประยุกต์กับปัญหาการหาเส้นทางที่ดีที่สุด ในโครงข่าย ฝูงมดเทียม (Artificial Ants) ประกอบด้วย มดจำนวน m ตัว จากจุดเริ่มต้น (อาณาจักรมด) จะสร้างเส้นทางไป – กลับ จากรังไปยังแหล่งอาหารโดยมดแต่ละตัวจะเลือกทิศทางตามค่าความน่าจะเป็นซึ่งขึ้นอยู่กับค่าสารฟีโรโมน (Pheromone) บนลิงก์เชื่อมต่อ เส้นทางต่อเนื่องจากลิงก์สู่ลิงก์ถึงแหล่งอาหารและเลือกเส้นทางกลับจากเส้นทางที่สั้นที่สุดจากการค้นพบของมดทั้งหมด ในระหว่างเดินทางกลับมดจะปล่อยสารฟีโรโมนลงบนลิงก์ของเส้นทาง (Pheromone Update)

ในขั้นตอนต่อ ๆ ไป การสร้างเส้นทางไป – กลับ เป็นไปในหลักการดังกล่าวข้างต้น แต่เส้นทางใหม่จะเปลี่ยนไปตามผลของค่าฟีโรโมนที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะบนลิงก์ที่เป็นส่วนของเส้นทางสั้นที่สุดและมีการปรับค่าฟีโรโมนบนเส้นทางที่ดี (Good Solution) ซึ่งเมื่อจำนวนการทำซ้ำเพิ่มขึ้นจะได้คำตอบ (เส้นทางไป – กลับ) ที่ดีที่สุด (Global Solution)

วิธีต่าง ๆ ของ ACO มีความคล้ายกันในส่วนการเลือกทิศทางโดยเลือกแบบสุ่มด้วยค่าความน่าจะเป็นที่ได้มาจากปริมาณฟีโรโมนของลิงก์ต่อเนื่อง ความแตกต่างของแต่ละวิธีอยู่ที่การอัปเดต (Update) ฟีโรโมน ในเส้นทางขากลับ (จากแหล่งอาหารสู่รัง) โดยวิธี AS ถือเป็นต้นแบบที่

พัฒนาขึ้นมา รายละเอียดเทคนิคการสร้างทาง (Solution Construction) และการอัปเดตฟีโรโมน (Pheromone Update) ของวิธี ACO ทั้ง 5 รูปแบบได้อธิบายไว้โดย Dorigo (2004) โดยแต่ละรูปแบบมีพฤติกรรมที่ต่างกัันดังนี้

2.1.6.1 วิธี Ant System (AS) จะอัปเดตฟีโรโมนทุกลิ้งค์ที่มดได้เดินผ่าน ประสิทธิภาพในการค้นหาเส้นทางของวิธี AS จะขึ้นอยู่กับกำหนค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้มีความสมดุลกับขนาดของปัญหาในระหว่างกระบวนการค้นหาเส้นทางเพื่อป้องกันการพบคำตอบที่ติดอยู่ในพื้นที่วงแคบ หรือในกรณีที่แย่ที่สุดอาจนำไปสู่การพฤติกรรมการล่าในการหาคำตอบ (Stagitation Behavior) ประสิทธิภาพในการค้นหาที่ไม่ดีนัก ซึ่งทำให้ต้องใช้เวลาในการสำรวจเส้นทางมากเกินไป (Dorigo,2004)

2.1.6.2 วิธี Elitist Ant System (EAS) วิธี EAS จะอัปเดตฟีโรโมนลิ้งค์ที่มดได้เดินผ่านเช่นเดียวกับวิธี AS แต่มีการอัปเดตฟีโรโมนบนเส้นทางที่สั้นที่สุดที่มดหาได้ตั้งแต่เริ่มต้นการคำนวณ (T^{bs}) วิธี AS-Rank จะอัปเดตฟีโรโมนในทุกลิ้งค์ที่มดได้เดินผ่านเช่นเดียวกับวิธี AS แต่จะกำหนจำนวนมดที่สามารถทาการอัปเดตฟีโรโมนได้เฉพาะมดตัวที่ค้นพบเส้นทางที่ดีในลำดับต้น ๆ ตาม Rank ที่กำหนและจะอัปเดตฟีโรโมนเพิ่มบนเส้นทางที่สั้นที่สุดที่มดหาได้ตั้งแต่เริ่มต้นการคำนวณ (T^{bs})

2.1.6.3 วิธี MMAS (Behavior of Extensions of MMAS) วิธี MMAS จะมีกระบวนการค้นหาเริ่มต้นที่ยาวที่สุดในวิธี ACO ทุกรูปแบบ (Dorigo, 2004) อันเนื่องมาจากการกำหนปริมาณฟีโรโมนเริ่มให้มีค่าเป็น τ_{max} และกำหนค่าอัตราการระเหยให้มีค่าน้อย (การกำหนค่า $\rho = 0.02$ พบว่าจะให้ผลลัพธ์ที่ดีเหมาะสำหรับการหาคำตอบที่ใช้เวลานาน (Dorigo, 2004) เมื่อปริมาณฟีโรโมนบนลิ้งค์เริ่มมีความแตกต่าง วิธี MMAS จะเปลี่ยนจากขั้นตอนการค้นหาคำตอบเริ่มต้นเข้าสู่ขั้นตอนการสะสมปริมาณฟีโรโมน การอัปเดตฟีโรโมนจะอัปเดตเฉพาะเส้นทางที่สั้นที่สุด (The Best-Found Tour) ซึ่งอาจหมายถึงเส้นทางที่ดีที่สุดในรอบการคำนวณ (The Iteration-Best Tour) หรือเส้นทางที่สั้นที่สุดที่มดหาได้ (The Best-So-Far Tour) ซึ่งจะมีการกำหนปริมาณสารฟีโรโมนรวมในแต่ละลิ้งค์ไม่ให้เกินค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด $\tau_{min} \leq \tau_{ij} \leq \tau_{max}$

2.1.6.4 วิธี ACS (Behavior of Extensions of ACS) วิธี ACS จะทำการสร้างเส้นทางจากโดยการให้ความสำคัญกับเส้นทางที่ดีที่สุดตั้งแต่เริ่มการคำนวณ (best – so – far tour; T^{bs}) แต่จะมีความแตกต่างจากวิธี ACO รูปแบบอื่นๆ โดยการสุ่มค่า เพื่อใช้ในสมการ The Pseudorandom Proportional Action Choice Rule และทำการอัปเดตฟีโรโมนเฉพาะเส้นทางที่ดีที่สุดตั้งแต่เริ่มต้นการคำนวณด้วย Global Pheromone Trail Update และมีการอัปเดตในส่วนของการเดินทางออกจากจุดเริ่มต้นด้วย Local Pheromone Trail Update

จากการศึกษาของ Dorigo (Dorigo, 2004) พบว่าวิธี ACS เมื่อประยุกต์กับปัญหาตัวอย่าง (ปัญหา TSP) จะสามารถหาคำตอบที่ดี (High Quality Solution) โดยใช้เวลาการคำนวณต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ

3. การจำลองสถานการณ์

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการจำลองสถานการณ์ โดยอธิบายความหมายการจำลองสถานการณ์ ประโยชน์ การใช้งาน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องการจำลองสถานการณ์ และการพัฒนาระบบบรรดาสารณะ

การจำลองสถานการณ์คือการสร้างแบบจำลอง (Model) ซึ่งมาจากการเลียนแบบพฤติกรรมของระบบการทำงานจริง จากนั้นทำการทดลองเพื่อที่จะเรียนรู้พฤติกรรมของระบบภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่มี เพื่อนำมาประเมินผลลัพธ์และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการตัดสินใจปรับปรุงระบบจริงให้ดียิ่งขึ้น การจำลองสถานการณ์ได้ถูกประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาในหลายด้าน อาทิเช่น ด้านการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ปัญหาสินค้าคงคลัง ปัญหาการขนส่ง รวมถึงในด้านการบริการ ซึ่งในปัจจุบัน การจำลองสถานการณ์กำลังเป็นที่นิยมมากเนื่องจากสามารถศึกษาการทำงานของระบบการทำงานจริงได้โดยไม่มีความเสี่ยงหรือรบกวนระบบการทำงานจริง ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์ เช่น ระบบการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น คน เครื่องจักร สายพานลำเลียง รถขนถ่ายระบบอัตโนมัติ ระบบการควบคุมการจราจร เช่น การปล่อยสัญญาณไฟจราจร ระบบการเดินรถรับส่งภายในมหาวิทยาลัย ระบบการทำงานของธนาคาร เช่น แถวคอยจากการให้บริการเบิก ถอนเงิน แถวคอยในเครื่องเบิกจ่ายเงินอัตโนมัติ (ATM) ระบบการขนส่งสินค้า เช่น การขนถ่ายในท่าเรือ เส้นทางรถลำเลียงสินค้า หรือ ระบบการบริการ เช่น จุดการจำหน่ายตั๋วของโรงภาพยนตร์ ที่จ่ายเงินของร้านสะดวกซื้อหรือห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่ เป็นต้น (รัฐพงศ์ 2550)

3.1 ข้อดีของการใช้แบบจำลองสถานการณ์

3.1.1 สามารถใช้กับระบบที่มีความซับซ้อน และไม่สามารถแก้ปัญหาด้วยการหาความสัมพันธ์ โดยการเขียนสมการเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ได้

3.1.2 สามารถสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายระบบในอนาคตได้ ตัวอย่างเช่น การขายบริษัทเครือข่ายสัญญาณโทรศัพท์ในอีก 2 ปีต่อไป จึงวางแผนในการเพิ่มบุคลากรในฝ่ายบริการลูกค้าสัมพันธ์ (Call Center)

3.1.3 สามารถทดลองปรับปรุงระบบโดยที่ไม่มีความเสี่ยงและรบกวนกับระบบการทำงานจริง

3.2 ข้อเสียในการจำลองสถานการณ์

3.2.1 ในระบบการทำงานจริง ปัญหาจาก ข้อมูลรับเข้า (in put) ที่เข้ามาในระบบ มักจะไม่สามารถควบคุมได้ การเข้ามาจะมีลักษณะเป็นการสุ่ม ดังนั้นแบบจำลองสถานการณ์ก็มักจะมิข้อมูลนำเข้า ที่เข้ามาเป็นแบบสุ่มเช่นเดียวกัน เช่นกัน ผลลัพธ์ (out put) ที่ออกมาก็มักจะไม่งตี่ และออกมาเป็นแบบสุ่มด้วย ตัวอย่างเช่น เข้ารับการบริการ เราไม่สามารถกำหนดจำนวนคนที่ จะมารับบริการได้ และ ไม่สามารถทราบว่ในแต่ละวันจะสามารถให้บริการได้ทั้งหมดเท่าไร ผู้ที่เข้ามารับบริการในแต่ละวันมักจะเข้ามาแบบสุ่ม ดังนั้น ในทดลองการหาผลลัพธ์ก็ต้องทำการทดลองหลายๆ ครั้ง ดังนั้นค่าที่ได้มักจะเป็นค่าประมาณ

3.2.2 ผู้ใช้ต้องมีความรู้พื้นฐานทางด้านสถิติ ในการวิเคราะห์และนำผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ไปใช้ในการปรับปรุงระบบต่อไป เนื่องจากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ก็ต้องใช้หลักการทางสถิติเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ ผู้วิจัยต้องเข้าใจในระบบเป็นอย่างดี เพื่อให้จะได้เก็บข้อมูลทางสถิติจากระบบจริงได้อย่างถูกต้อง

3.2.3 ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ผู้ใช้ต้องมีความรู้ในด้านการใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลอง

3.2.4 เนื่องจากการจำลองสถานการณ์เป็นการสร้างตัวแบบโดยผู้ส่เพื่อที่จะสร้างทางเลือกให้กับระบบ ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง อาจไม่ใช่ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของระบบจริง

3.3 การจำลองด้วยระบบคอมพิวเตอร์

การศึกษาแบบจำลองของระบบในชีวิตจริง โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อเลียนแบบการทำงานและลักษณะเฉพาะของระบบเมื่อเวลาเปลี่ยนไป แล้วประเมินผลประสิทธิภาพของระบบเมื่อเวลาเปลี่ยนไป แล้วประเมินผลประสิทธิภาพของระบบ หรือ อีกนัยหนึ่ง Simulation คือกระบวนการและการสร้างแบบจำลองของระบบจริงหรือระบบที่ถูกเสนอเป็นทางเลือกขึ้นบนคอมพิวเตอร์ โดยมรจุดประสงค์เพื่อการทดลองเชิงตัวเลข เพื่อให้เรา มีความเข้าใจพฤติกรรม ของระบบได้ดีขึ้นภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ กัน ถึงแม้เราสามารถ ใช้ Simulation เพื่อศึกษาระบบอย่างง่าย แต่ประโยชน์ที่แท้จริงของเทคนิคนี้ จะถูกใช้เต็มที่เมื่อเราศึกษาในระบบที่มีความซับซ้อน แม้ว่า Simulation จะไม่ใช่เครื่องมืออันเดียวที่จะนำมาศึกษาระบบ แต่ผู้คนจำนวนมากก็เลือกใช้วิธีนี้เหตุผล เพราะว่า แบบจำลอง Simulation สามารถถูกสร้างให้ซับซ้อนอย่างไรก็ได้ นอกจากนี้เรายังสามารถวิเคราะห์ผลของแบบจำลองนั้นได้ในขณะที่วิธีอื่น ๆ อาจจะต้องมีการตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับระบบที่ทำการศึกษาใหม่ให้ความซับซ้อน ของแบบจำลองลดน้อยลง จึงจะสามารถสร้างแบบจำลองด้วยวิธีนั้น ซึ่งข้อดีในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการสร้างแบบจำลอง คือช่วยลดเวลาในการเขียนโปรแกรม และผู้ใช้สามารถแก้ไขเปลี่ยนแปลง แบบจำลอง

ได้สะดวก รวมถึงการเปลี่ยนแปลงตัวแปร และพารามิเตอร์ในแบบจำลอง สามารถทำได้ง่าย รวมถึงมีการตรวจสอบความผิดพลาดเมื่อโปรแกรมไม่สามารถรันได้สำเร็จ และมีแบบฟอร์มรายงานข้อมูลผลลัพธ์ทางสถิติ โดยรูปแบบของการจำลองสถานการณ์ นั้นมีอยู่หลายรูปแบบ แต่วิธีการที่เป็นที่นิยมมีอยู่ 3 รูปแบบดังนี้

3.3.1 Static กับ Dynamic รูปแบบดังกล่าวจะเป็นการจำลองสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับเวลา การจำลองแบบ Static จะมีลักษณะที่เป็นการพิจารณาปัญหาโดยที่ไม่มีเวลามาเกี่ยวข้อง แต่ถ้าหากมีเวลามาเกี่ยวข้องและระบบเคลื่อนที่ไปตามเวลาลักษณะการจำลองจะเป็นรูปแบบ Dynamic

3.3.2 Continuous กับ Discrete ในสถานะแบบ Continuous จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เช่น น้ำในแม่น้ำ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้เกิดการระเหยอยู่ตลอดเวลา แต่ในส่วนการจำลองแบบ Discrete จะมีการพิจารณาเป็นแบบจุดๆ ซึ่งเป็นจุดหนึ่งในช่วงเวลา เช่น การจำลองระบบการบริการของธนาคารใน 1 วัน หรือในบางครั้ง มีการจำลองแบบทั้ง Continuous กับ Discrete ในการจำลองเดียวกัน เราจะเรียกว่า Mixed Continuous แต่ในทางอุตสาหกรรม มักจะมองระบบการจำลองเป็นแบบ Discrete เป็นหลัก

3.3.3 Deterministic กับ Stochastic แบบจำลองที่มีข้อมูลนำเข้าแบบตายตัว จะถือว่าเป็นแบบจำลองนั้น เป็นแบบ Deterministic แต่ถ้าหากแบบจำลองใดมี ข้อมูลนำเข้าเป็นแบบสุ่มจะถูกจัดเป็นประเภท Stochastic หรือในบางครั้งอาจจะพบว่ามีการนำข้อมูลที่นำเข้าทั้งแบบ Deterministic และ Stochastic รวมกันเป็นแบบจำลองเดียว

3.4 ขั้นตอนในการศึกษาการจำลองสถานการณ์

ในการศึกษาการจำลองสถานการณ์ เราจำเป็นต้องกำหนดขั้นตอนการศึกษาการจำลองสถานการณ์ให้ชัดเจน ขั้นตอนที่สำคัญควรอยู่ที่การศึกษาปัญหาและการเก็บข้อมูล รวมถึงการวิเคราะห์ผลและรายงานผลที่จะมอบให้ผู้ที่เกี่ยวข้องระดับสูงเพื่อใช้ในการปรับปรุง ดังนั้นระหว่างการศึกษาแบบจำลองควรที่จะปรึกษาหรือรายงานผลลัพธ์ให้ผู้ที่เกี่ยวข้องหรือผู้บริการอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือในด้านข้อมูล ซึ่งจะส่งผลต่อโอกาสที่งานทดลองของเราได้นำไปใช้ในระบบจริง

3.4.1 1. จัดระบบปัญหา และแผนการศึกษา สิ่งที่สำคัญที่มักมองข้ามคือการกำหนดจุดประสงค์อย่างรอบคอบและนักศึกษาจำเป็นต้องเข้าใจสถานการณ์อย่างชัดเจนก่อนที่จะศึกษา โดยก่อนการศึกษาคงจะมีการประชุมร่วมกันระหว่าง ผู้สร้างแบบจำลอง ผู้บริการ ผู้จัดการ วิศวกร เพื่อกำหนดจุดประสงค์ของการศึกษาการจำลองสถานการณ์และไม่ควรคาดหวังกับแบบจำลองเพียงหนึ่งแบบ ควรจะสร้างแบบจำลองให้มีหลายสถานการณ์ให้ศึกษาเพื่อสร้างทางเลือก โดยสิ่งที่จะต้องมียุติที่ได้จากการประชุมครั้งแรกคือ ระบุปัญหาที่มีอยู่จริงของระบบว่าจะทำอะไร จากนั้นกำหนด

จุดประสงค์ที่แน่นอน แบบจำลองที่สร้างขึ้นจะถูกใช้งานอย่างไร เช่น จะนำมาตัดสินใจเพียงครั้งเดียวหรือ ใช้วางแผนสำหรับวันต่อวัน จากนั้นตัดสินใจว่าใครคือผู้ใช้แบบจำลองนี้ (ควรเป็นผู้มีความรู้ในการใช้คอมพิวเตอร์เป็นอย่างดี) สุดท้ายคือประเมินประสิทธิภาพที่จะใช้ในการประเมินระบบ

3.4.2 เก็บรวบรวมข้อมูลและให้ความหมายแบบจำลอง ซึ่งการเก็บข้อมูลของระบบและตรรกะของระบบไม่ใช่เรื่องง่าย เนื่องจากผู้สร้างระบบจำเป็นต้องอาศัยการเก็บข้อมูลจากหลายแหล่งข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพและเพียงพอต่อการอธิบายแบบจำลอง ข้อมูลที่นำเข้าควรเป็นข้อมูลที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็น ไม่ควรแทนที่ด้วยค่าเฉลี่ยเพียงอย่างเดียว เพราะจะทำให้การดำเนินการในแบบจำลองนั้นไม่ตรงกับความเป็นจริง ซึ่งเมื่อได้ข้อมูลมาควรใช้การทดลองทางสถิติเพื่อให้เกิดความแน่ใจว่าเลือกมาใช้ได้ถูกต้อง เมื่อได้ข้อมูลทั้งหมดที่ต้องการแล้ว ควรนำข้อมูลที่ได้มาสรุปและตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง และเขียนเอกสารสมมติฐาน ซึ่งโดยทั่วไปเอกสารสมมติฐานนี้จะบอกให้ทราบถึงขั้นตอนการทำงานของระบบ การแจกแจงข้อมูลนำเข้าที่นำมาให้เลือกใช้ ข้อมูลเบื้องต้นที่ควรทราบ แบบจำลองที่ได้จากการออกแบบระบบใหม่ๆ ที่ไม่เคยมีมาก่อน จะมีความละเอียดน้อยกว่าแบบจำลองที่มาจากการพัฒนาระบบเก่า ซึ่งถ้าหากเป็นระบบเก่า เราจะมีข้อมูลอยู่แล้วและแบบจำลองที่สร้างขึ้นไม่จำเป็นต้องเหมือนสถานการณ์จริงทุกประการเพียงแต่สามารถวิเคราะห์ค่าที่ได้ควรมีความใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากที่สุด และอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญสำหรับการแบบจำลองคือควรมีการติดต่อประสานงานกับผู้ที่เกี่ยวข้องอย่างสม่ำเสมอ เพื่อปรับเปลี่ยนทัศนคติเกี่ยวกับปัญหาให้มีความเข้าใจตรงกันและแก้ปัญหาตรงตามจุดประสงค์ที่ทุกฝ่ายต้องการ ทำให้ผู้มีอำนาจมีความสนใจในตัวแบบจำลอง และข้อมูลที่ได้จากผู้มีอำนาจสามารถทำให้แบบจำลองมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นและสุดท้ายก็จะมีคำแนะนำเชื่อถือและได้รับการยอมรับการยอมรับจากผู้บริหารได้ง่ายขึ้น

3.4.3 การตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบจำลอง เพื่อให้ได้ความน่าเชื่อถือนั้น ทำได้โดยการนำข้อมูลที่ได้จริงมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง แล้วนำเสนอต่อผู้บริหารหรือผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการแสดงความเห็นว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นถูกต้องแล้ว และถ้าหากมีข้อผิดพลาดก็สามารถแก้ไขแบบจำลองได้ทันที ซึ่งการตรวจสอบควรทำให้ชัดเจนก่อนนำแบบจำลองไปใช้

3.4.4 โปรแกรมแบบจำลองลงบนคอมพิวเตอร์และตรวจสอบความถูกต้อง การสร้างแบบจำลองการเลือกใช้โปรแกรมที่เหมาะสมนั้นมีผลอย่างมากต่อความสำเร็จของโครงการ โดยพิจารณาจากความละเอียดที่สามารถใช้งานได้ ความน่าเชื่อถือ ระยะเวลาในการหาผลลัพธ์

นอกจากนี้ภาพเคลื่อนไหวเพื่อช่วยในการสังเกตการไหลของกระบวนการเพื่อตรวจสอบความผิดพลาด ซึ่งจะเป็นตัวชี้ว่าแบบจำลองนั้นถูกต้องหรือไม่

3.4.5 ทดสอบดำเนินการโปรแกรมแบบจำลองที่สร้างขึ้นเบื้องต้น

3.4.6 การตรวจสอบความสมบูรณ์ของตัวแบบจำลอง ผลที่ได้ควรนำไปให้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญต่อระบบเพื่อตรวจหาความผิดพลาดเสียก่อน หากพบข้อผิดพลาดให้รีบแก้ไข และถ้าหากภาพเคลื่อนไหวของแบบจำลองยังมีความเหมือนจริงเท่าไร ความน่าเชื่อถือยิ่งมาก การทดสอบความเหมาะสมที่สำคัญอีกวิธีหนึ่งคือการนำเอาผลวัดประสิทธิภาพที่ได้จากแบบจำลอง มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริง ถ้าระบบที่เรานำมาเสนอใหม่มีความใกล้เคียงกับระบบเดิมที่มีอยู่แล้ว ถ้าหากใกล้เคียงกันก็ถือว่าระบบที่เราจำลองขึ้นสามารถนำไปเป็นตัวแทนของระบบจริงได้ แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังไม่มีวิธีการไหนที่แสดงว่าระบบที่จำลองที่ถูกเสนอนั้นสามารถนำมาเป็นตัวแทนของระบบจริงได้ เพียงแต่เป็นวิธีที่มีความใกล้เคียงมากที่สุดและใช้เพื่อเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจเท่านั้น

3.4.7 การออกแบบการทดลอง เมื่อได้แบบจำลองแล้วการพัฒนาแบบจำลองต้องมีการกำหนดก่อนว่าต้องการทดลองอะไร ต้องระบุเงื่อนไขให้ชัดเจน หากมีการตัดสินใจต้องทำการจำลองระบบขึ้นมาก่อนแล้วทดลองปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ แล้วสังเกตผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเพื่อให้เราได้พบทางเลือกใหม่ ๆ หรือนำข้อบกพร่องมาปรับปรุงแบบจำลองให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น ในการสร้างแบบจำลองข้อมูลที่เข้ามาในระบบจะได้จากการสุ่ม ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จะออกเป็นแบบสุ่มด้วย ซึ่งผลที่ได้ควรจะถูกต้องตามหลักการทางสถิติมากที่สุด มีความแปรปรวนน้อย โดยผู้ทดลองต้องระบุว่าจะดำเนินงานจำลองระบบยาวนานแค่ไหน ต้องจำลองระบบกี่ครั้งถึงจะมีความน่าเชื่อถือ และตอนเริ่มต้นการจำลองมีสถานะอย่างไร เช่น เครื่องจักรยังว่างอยู่หรือกำลังปฏิบัติงานอยู่ สุดท้ายจะมีการ warm up period ยาวนานแค่ไหน เราควรจำลองระบบประมาณ 3-5 ครั้งในแต่ละทางเลือกแล้วใช้ค่าเฉลี่ยของค่าประมาณประสิทธิภาพมาเป็นตัวแทนค่าประมาณทั้งหมด

3.4.8 การดำเนินงานทดลองจริง นำผลที่ได้จากในขั้นตอน 3.4.7 มาแสดงจริงบนคอมพิวเตอร์

3.4.9 วิเคราะห์ผลลัพธ์จากแบบจำลอง ผลลัพธ์ที่ได้จะนำมาประมาณค่าเชิงตัวเลขตัววัดประสิทธิภาพของระบบที่เราสนใจ ซึ่งจะนำมาพิจารณาว่าระบบที่เราออกแบบ หรือระบบเดิมที่มีอยู่แล้วระบบใดมีประสิทธิภาพมากกว่ากัน นอกจากแสดงผลเป็นตัวเลข โปรแกรมคอมพิวเตอร์ยังสามารถแสดงผลเป็นกราฟ ทำให้เราสามารถเข้าใจพฤติกรรมของระบบมากยิ่งขึ้น

3.4.10 จัดทำเอกสารและทำการนำเสนอและนำผลที่ได้ไปช่วยในการตัดสินใจสำหรับการดำเนินงานจริง การทำเอกสารเพื่อนำเสนอแบบจำลองสำคัญมากเนื่องจากแบบจำลองอาจจะไม่ได้

ถูกนำไปใช้เพียงแค่ครั้งเดียว แต่อาจมีคนนำไปพัฒนาต่อ ดังนั้นควรสรุปให้มีเนื้อความที่ครบถ้วน มีการกำหนดเอกสารที่เกี่ยวข้องกับสมมุติฐานของแบบจำลองและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับ โปรแกรมที่เขียนขึ้น รายงานข้อสรุปจากการศึกษาแบบจำลองทั้งหมด สุดท้ายสิ่งที่สำคัญที่สุดคือการรายงานผลที่ได้ให้กับผู้บริหารและผู้ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีโอกาสน้อยมากที่จะร่วมทดลองกับเราตั้งแต่ต้น ซึ่งความน่าเชื่อถือจะขึ้นอยู่กับ การนำเสนอ อาจจะมีการใช้ภาพเคลื่อนไหวให้มีความเข้าใจง่าย บอกที่มาของข้อมูล บอกขั้นตอนการเปรียบเทียบ กับระบบจริง และขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องที่เราได้ปฏิบัติที่ผ่านมา หรืออาจจะให้ผู้บริหารได้ดู Walk-through (ตัวอย่างการไหลของระบบงานที่ถูกออกแบบขึ้น)

จากขั้นตอนที่ผ่านมาอาจจะกล่าวได้ว่าการจำลองสถานการณ์มีความซับซ้อนและต้องมีความรู้เทคนิคที่ค่อนข้างสูง รวมถึงความสามารถในการจัดการโครงการเพื่อให้ได้แบบจำลองที่ได้ออกมาถูกต้องมากที่สุด และนำผลที่ได้จากแบบจำลองนั้นไปใช้เพื่อการตัดสินใจในท้ายที่สุดของการออกแบบระบบให้มีประสิทธิภาพที่สุด

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสถานการณ์

ในปัจจุบันปัญหาการเกิดอุบัติเหตุในการใช้รถใช้ถนนมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้น หลายภาคส่วนได้หาแนวทางในการพัฒนาระบบการขนส่งสาธารณะของประเทศให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเพื่อเป็นแรงจูงใจให้ ประชาชนในแต่ละพื้นที่ใช้รถสาธารณะเพื่อเป็นการลดการใช้พลังงาน ลดความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุ และ มลพิษทางอากาศ ซึ่งส่งผลให้มีนักวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้บริการขนส่งสาธารณะ ตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยของ (นิภา, 2549) ได้ศึกษาระบบขนส่งมวลชน ของเมืองเชียงใหม่โดยมีเป้าหมายเพื่อ ศึกษาความคิดเห็นของผู้ใช้บริการ เพื่อนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพให้สอดคล้องกับต้นทุนการดำเนินงานและความพึงพอใจของผู้ที่เข้ามาใช้บริการ รวมถึงเพื่อเป็นแนวทางในการขยายกิจการของระบบการขนส่งสาธารณะของตัวเมืองเชียงใหม่ โดยศึกษาข้อมูลจากผู้ประกอบการ 3 รายคือบริษัทเชียงใหม่ไทยเดรินด์ บริษัทเปรมประชาชนส่ง และบริษัท เอ. ซี. ซี. เรียวเอสเตท ร่วมกับ รถสี่ล้อแดงของจังหวัดเชียงใหม่ ในการศึกษา นิภา ศิลปนันท์ ได้เปรียบเทียบการดำเนินงานของบริษัทขนส่งมวลชนและรถ 4 ล้อสี่ล้อแดง จากผลลัพธ์ของแบบสอบถามพบว่า ช่วงเวลาที่ประชาชนใช้ขนส่งมวลชนมากที่สุดคือ เวลา 7.00-9.00 น. และ 16.00-18.00 น. ที่เป็นเวลาเดินทางไปทำงานหรือไปศึกษาของคนส่วนใหญ่ ส่วนปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย ตัวอย่างกลุ่มผู้ใช้บริการจะให้ความเห็นว่า การใช้รถเมล์จะมีความจะมีความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินมากกว่า ในเรื่องของค่าใช้จ่าย รถเมล์จะมีค่าโดยสารที่ถูกกว่ารถสี่ล้อแดง แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ผู้ใช้บริการก็เลือกที่จะใช้รถสี่ล้อแดงมากกว่าเนื่องจากมี

ความสะดวกกว่า เพราะรถเมล์ที่มีจำนวนน้อยทำให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการ และสุดท้ายในเรื่องในการให้บริการของ ความเห็นส่วนใหญ่จะให้ความคิดเห็นในทางเดียวกัน คือรถเมล์จะให้บริการที่ดีกว่ารถสี่ล้อแดง ด้านต้นทุนผู้ประกอบการรถเมล์สามารถทำรายรับให้แก่ผู้ประกอบการและจังหวัดเชียงใหม่ แต่การประกอบการรถสี่ล้อแดงที่ร่วมโครงการไม่คุ้มค่าต่อการดำเนินโครงการ อันเนื่องจากเชื้อเพลิงและค่าบำรุงรักษาที่เพิ่มขึ้น แต่รายรับที่น้อยลง ดังนั้นทางจังหวัดเชียงใหม่จึงลดจำนวนสี่ล้อแดงที่เข้าร่วมโครงการลง เพราะไม่สามารถแบกรับสถานะขาดทุนได้ ในตัวเมืองนครสวรรค์ก็ถือว่าเป็นเมืองใหญ่ที่มีการจราจรที่คับคั่ง เช่นเดียวกัน ในงานวิจัยของสมบัติได้ศึกษาระบบขนส่งสาธารณะในเมืองนครสวรรค์ เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมการใช้ระบบขนส่งสาธารณะ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้ จากการศึกษาพบว่า กลุ่มประชากรที่ใช้บริการระบบขนส่งสาธารณะ ส่วนใหญ่จะเป็น นักเรียนนักศึกษา ผู้ที่มีรายได้น้อย สถานที่ที่เป็นเป้าหมายคืออันดับที่ 1 คือ สถานศึกษา ปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้รถใช้ถนนมาจากสภาพของรถมาเป็นอันดับที่ 1 และ การให้บริการของผู้ประกอบการมาเป็นอันดับรองลงมา ส่วนปัจจัยอื่นประกอบไปด้วย รถควรมีเพียงพอต่อความต้องการ และเข้าจอดจุดที่เหมาะสม และสุดท้ายสาเหตุที่ส่งผลต่อความล่าช้าที่ทำให้ผู้ใช้บริการต้องรอคอยคือ การตัดสัญญาณไฟจราจร การจราจรที่ไม่เป็นระเบียบ และการขึ้น – ลงรถของผู้โดยสาร (สมบัติ, 2542) อีกหนึ่งตัวอย่างงานวิจัยที่น่าสนใจคือจังหวัดพิษณุโลกที่มีการจราจรที่หนาแน่นเช่นเดียวกัน โดย กฤตย์ ได้ศึกษาระบบการขนส่งที่เชื่อมต่อระหว่างสถานีขนส่งผู้โดยสารและสถานีรถไฟ ซึ่งถือว่าการเชื่อมต่อระบบขนส่งสาธารณะนั้นมีความสำคัญมาก ถ้าหากมีประสิทธิภาพจะส่งผลให้มีความสะดวกและปลอดภัยของประชาชน และส่งผลให้ลดความเสี่ยงจากการเกิดอุบัติเหตุและมลพิษในอากาศ อีกทั้งยังสามารถลดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้บริการแทนการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล โดยในการศึกษาโครงการเรื่องการเชื่อมต่อระบบขนส่งสาธารณะจะทำให้ทราบถึงลักษณะและปริมาณการ เดินทางของผู้ใช้บริการที่เดินทางผ่านจังหวัดพิษณุโลกไปยังจังหวัดอื่นๆ เพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุง ระบบ บริการเพื่อความสะดวกในการเลือกใช้บริการ จากผลการวิจัยพบว่า การเดินทางด้วยรถประจำทางมีจำนวนมากที่สุด เนื่องจากผู้ใช้บริการจะต้องเดินทางต่อ ไปยังจุดหมายต่อไป ซึ่งถ้าหากนำรถไปด้วยอาจจะต้องนำรถไปฝาก ณ จุดบริการและต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ในด้านของความปลอดภัยประชาชนส่วนใหญ่ให้ความคิดเห็นว่าการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลมีความปลอดภัยมาเป็นอันดับที่ 1 รองลงมาคือการใช้รถประจำทางและการเดินด้วยเท้า ส่วนในด้านจะอยากให้มีการปรับปรุงคือการยืดเวลาการให้บริการของผู้ประกอบการ การเพิ่มจำนวนรอบรถเพื่อลดเวลาการรอคอย (กฤตย์ และ คณะ 2549)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากวัตถุประสงค์หลักคือจำลองระบบการนำรถที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามาใช้ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ทั้งนี้การจัดเส้นทางและการวางแผนการเดินทางต้องทำได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากต้นทุนและทรัพยากรที่มีอยู่จำกัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการวางแผนการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุด งานวิจัยชิ้นนี้จะประกอบด้วยวัตถุประสงค์ 3 ส่วนหลักๆ ส่วนแรก คือศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้ระบบขนส่งสาธารณะ ส่วนที่ 2 คือการประยุกต์ใช้เมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) เพื่อออกแบบเส้นทางและจุดจอดของรถไฟฟ้าที่เหมาะสม และส่วนสุดท้ายคือการสร้างแบบจำลอง (Model) เพื่อหาจำนวนรถไฟฟ้าและจำนวนความถี่ที่เหมาะสมในแต่ละวัน ซึ่งการสร้างแบบจำลองจะสามารถศึกษาและอธิบายสถานการณ์ที่เหมือนจริงโดยที่ไม่จำเป็นต้องสร้างระบบจริงขึ้นมา ซึ่งถ้าหากมีการนำรถไฟฟ้ามาใช้ในมหาวิทยาลัย งานวิจัยชิ้นนี้จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบการเดินทางที่มีประสิทธิภาพได้

1. เครื่องมือในการทำวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคืออุปกรณ์ที่เป็นฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ฮาร์ดแวร์ได้แก่คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer) ยี่ห้อ HP รุ่น HP 3330 Micro Tower PC หน้าจอ 17.1“ หน่วยความจำสำรอง (Ram) 2 GB หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Intel (R) i5-2400 @ 3.10 GHz หน่วยความจำหลัก (Hard disk) 500 GB ส่วนซอฟต์แวร์ได้แก่ โปรแกรม MINITAB 16 สำหรับวิเคราะห์ผลการทดลองและวิเคราะห์ความแปรปรวน โปรแกรม Arena simulation 7.0 ในการสร้างแบบจำลองและใช้โปรแกรม Python 3.4.3 ในการประมวลผลและคำนวณหาผลลัพธ์ ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อหลักตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย สามารถอธิบายได้โดยสังเขปดังนี้

2.1 การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้ระบบขนส่งสาธารณะมีวิธีการวิจัยดังนี้

2.1.1 ประชากรที่ใช้ในงานวิจัยในการศึกษาคือจำนวนนักศึกษาและบุคลากร โดยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์มีจำนวนนักศึกษา 8,497 คน ดังนั้นผู้วิจัยได้พิจารณาร่วมกับบุคลากรและบุคลากรภายนอกมหาวิทยาลัยรวมแล้วเท่ากับ 9,000 คน และมีการตั้งสมมุติฐานให้ประชากร

เลือกในการใช้ระบบสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์จำนวน 20% ดังนั้นประชากรที่นำมาพิจารณาคือ 1,800 คน แต่เนื่องจากการเก็บข้อมูลกับประชากรทุกหน่วยอาจทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายที่สูงมากและบางครั้งเป็นเรื่องที่ต้องตัดสินใจภายในเวลาจำกัด การเลือกศึกษาเฉพาะบางส่วนของประชากรจึงเป็นเรื่องที่มีความจำเป็นในการกำหนดกลุ่มตัวอย่างที่มีความจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้ ผู้วิจัยจึงใช้หลักการสถิติเชิงสมการ ในกรณีที่ประชากรมีจำนวนแน่นอน (Finite population) Yamane (1973)

$$n = \frac{N}{1 + n(e)^2}$$

โดยที่ n = คือตัวแทนของประชากร

N = คือจำนวนประชากรทั้งหมด

e = คือความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นในรูปของสัดส่วน

ในงานวิจัยชิ้นนี้กำหนดให้สามารถเกิดความคลาดเคลื่อนได้ร้อยละ 5 ดังนั้นประชากรที่จะเป็นประชากรตัวแทนในการเก็บข้อมูลจะอยู่ที่ 327 คน

2.1.2 เครื่องมือในการทำวิจัย ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูลจากนักศึกษา บุคลากรและบุคคลภายนอกจำนวน 327 คน โดยแบ่งแบบสอบถามออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับ เพศ อายุ สถานภาพ

ส่วนที่ 2 แบบสำรวจเกี่ยวกับความต้องการระบบการขนส่งรถไฟฟ้าสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เช่น วิธีการเดินทาง การได้รับประโยชน์จากการใช้รถไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงการเดินทางถ้าหากมีการใช้รถไฟฟ้า เป็นต้น

ส่วนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

2.1.3 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือ

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษา แนวคิด เอกสาร และ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบสอบถามเพื่อทราบความต้องการความต้องการระบบการขนส่งรถไฟฟ้าสาธารณะ

ขั้นตอนที่ 2. นำข้อมูลที่ได้มาสร้างแบบสอบถามเพื่อหาความต้องการและแนวทางในการพัฒนาระบบการขนส่งรถไฟฟ้าสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ขั้นตอนที่ 3 นำผลลัพธ์ที่ได้ไปสรุปเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการขนส่งรถไฟฟ้าสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

2.1.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

นักศึกษาและบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

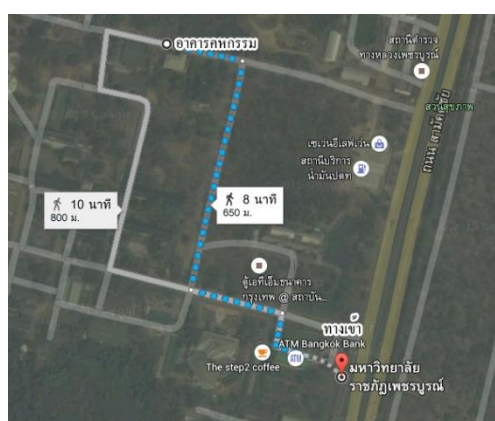
2.1.5 และการประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยในส่วนนี้จะได้โปรแกรม Microsoft Excel 2010 ในการวิเคราะห์ข้อมูล และค่าทางสถิติต่าง ๆ

2.2 การประยุกต์ใช้เมตาดาทาเพื่อออกแบบเพื่อออกแบบเส้นทางและจุดจอดของรถไฟฟ้าที่เหมาะสม มีขั้นตอนการดำเนินงาน 6 ขั้นตอนดังนี้

2.2.1 รวบรวมข้อมูล ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.2 กำหนดเส้นทางและจุดจอด การกำหนดเส้นทางจะใช้เส้นทางจาก เว็บไซต์ Google map (<https://maps.google.co.th>) โดยเลือกเอาเส้นทางที่สั้นที่สุดของแต่ละจุดมาใช้ในการตัดสินใจออกแบบเส้นทางในการเดินรถว่าถ้าหากจะไปยังจุดที่กำหนดไว้ให้ครบทุกจุด จะต้องใช้เส้นทางไหนถึงจะได้ระยะทางที่สั้นที่สุด ดังนั้นจึงประยุกต์ใช้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายในการแก้ปัญหาดังกล่าว จากภาพ 3 -1 แสดงวิธีการหาเส้น ระหว่าง ทางเข้า กับ อาคารคหกรรม จากเว็บไซต์ Google map ผลลัพธ์ที่ได้คือเส้นทางเดินรถ 2 เส้นทาง โดยจะเลือกใช้เส้นทางที่สั้นกว่า คือเส้นทาง 650 เมตร เพื่อกำหนดเป็นระยะทางระหว่างจุดจอด ดังตัวอย่างที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-1 ในปัญหาขนาด 5 จุดจอด ปัญหาถูกแบ่งออกเป็น 3 ขนาดได้แก่ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และ ขนาดใหญ่โดยแต่ละขนาดจะมีจุดจอดของรถไฟฟ้า 10 15 และ 30 จุด ตามลำดับ ตารางที่ 3-1 แสดงตัวอย่างระยะระหว่างจุดจอดในแต่ละจุด



ภาพที่ 3-1 การหาระยะทางใน Google Map

2.2.3 แก้ปัญหาโดยใช้วิธีการเมตาสหวิธติ ในที่นี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ เมตาสหวิธติ 3 วิธี ประกอบด้วย วิธีค้นหาเฉพาะที่ (Local Search : LS) วิธีค้นหาเฉพาะที่แบบวนซ้ำ (Iterated Local Search :ILS) และวิธีการอนานิคมมด (Ant Colony Optimization : ACO) โดยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากเมตริกซ์ระยะทาง เพื่อกำหนดหาเส้นทางที่สั้นที่สุดเพื่อนำใช้ในการจัดลำดับจุดจอด

ตารางที่ 3-1 ตัวอย่างเมตริกซ์ระยะทางระหว่างจุดจอด

i / j	ทางเข้า	อาคารช้อปปิ้ง	สำนักอธิการบดี	โรงอาหาร	อาคารคหกรรม
ทางเข้า	0	110	190	400	650
อาคารช้อปปิ้ง	110	0	150	350	600
สำนักอธิการบดี	190	150	0	200	150
โรงอาหาร	400	350	200	0	600
อาคารคหกรรม	32	37	25	19	0

2.2.3.1 Local Search: LS วิธีการหาคำตอบเฉพาะที่เป็นเมตาสหวิธติรูปแบบหนึ่งที่จะทำงานโดย ค้นหาเพียงตำแหน่งเดียว จากพื้นที่หาคำตอบใกล้เคียง (Neighborhood) แล้วตรวจสอบว่าตำแหน่งนี้ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าตำแหน่งเดิมหรือไม่ ถ้าหากไม่ดีกว่าตำแหน่งเดิมก็ทำการหาตำแหน่งของคำตอบใหม่ LS โดยทั่วไปมีขั้นตอนในการทำงานดังนี้ (ภาพ 3-2) เลือกวิธีการประมวลผลคำตอบ $f(x)$ และโครงสร้างการปรับปรุงคำตอบย่านคำตอบใกล้เคียง $N(x)$ สร้างตำแหน่งของคำตอบเริ่มต้น x โดยการสุ่ม จากนั้นทำการวนซ้ำเพื่อหาคำตอบตามลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

Initialization.

Choose f, X , neighborhood structure $N(x)$, initial solution x ;

Current step (Repeat)

(1) Find first solution $x' \in N(x)$;

(2) If $f(x') < f(x)$, find next solution $x'' \in N(x)$; set $x' \leftarrow x''$ and iterate (2);

otherwise, set $x \leftarrow x'$ and iterate (1);

(3) If solution of $N(x)$ have been considered, stop.

ภาพ 3-2 ขั้นตอนการทำงานของ LS

1) ขั้นตอนที่ 1 สุ่มตำแหน่งของคำตอบใหม่ x' ในย่านคำตอบใกล้เคียง ของ x ($x' \in N(x)$)

2) ขั้นตอนที่ 2 เปรียบเทียบค่าคำตอบใหม่ $f(x')$ กับค่าคำตอบเดิม $f(x)$ ถ้าหาก $f(x')$ ไม่สามารถให้ค่าคำตอบได้ดีกว่า $f(x)$ ให้ทำการสุ่มตำแหน่งของคำตอบใหม่ x'' ในย่านคำตอบใกล้เคียง ของ x ($x'' \in N(x)$) จากนั้นให้แทนที่ $x' \leftarrow x''$ และเปรียบเทียบค่าคำตอบใหม่กับค่าคำตอบเดิม ถ้าหาก $f(x')$ สามารถให้ค่าคำตอบได้ดีกว่า $f(x)$ ให้แทนที่ $x \leftarrow x'$ และกลับไปทำขั้นตอนที่ 1

4.1.1 ขั้นตอนที่ 3 ทำซ้ำจนกว่าจะไม่สามารถหาค่าคำตอบที่ดีกว่า $f(x)$ หรือเมื่อมีเกณฑ์การหยุดการค้นหาคำตอบ

2.2.3.2 Iterated Local Search: ILS หรือการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบทำซ้ำ ซึ่งพัฒนามาจาก LS โดยที่ข้อเสียของ LS เหมือนกับวิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบพิจารณาคำตอบที่ดีที่สุดภายในย่านคำตอบใกล้เคียง ตรงที่ค่าคำตอบที่ได้มักจะไปติดที่ค่าคำตอบที่ดีที่สุดภายในย่านคำตอบใกล้เคียง ILS ถูกพัฒนามาจาก LS โดยการเพิ่มกลยุทธ์เพื่อให้ LS สามารถหลีกเลี่ยงไม่ให้คำตอบไปติดที่ค่าคำตอบที่ดีที่สุดภายในย่านคำตอบใกล้เคียง โดยอาศัยเพิ่มเติมฟังก์ชันในการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การปรับปรุงคำตอบภายในย่านคำตอบใกล้เคียง

Initialization

Select the set of neighborhood structures $N(x)$ for $l = 1 \dots l_{\max}$ and $n = 1 \dots n_{\max}$

Find an initial Solution x

Current step (Repeat)

(1) Set $l \leftarrow 1$ and $n \leftarrow 1$

(2) Repeat the following step until $l = l_{\max}$ and $n = n_{\max}$

a) Find solution $x' \in (N(x))$:

b) If $f(x') < f(x)$, $x \leftarrow x'$ and iterate (a) otherwise iterate (a) set $n \leftarrow n + 1$

c) If $n = n_{\max}$ Random $N(x'')$ $N(x) \leftarrow N(x'')$ and set $l \leftarrow l + 1$

(3) If solution of $l = l_{\max}$ have been considered, stop.

ภาพ 3-3 ขั้นตอนการทำงานของ ILS

- 1) ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่า $l_{\max}$ และ $n_{\max}$ สุ่มตำแหน่งของหาคำตอบเริ่มต้น x กำหนดให้ $l \leftarrow 1$ และ $n \leftarrow 1$
- 2) หาคำตอบ $x' \in (N(x))$: ถ้า $f(x') < f(x)$ ให้ $x \leftarrow x'$ และทำซ้ำ ถ้าไม่เช่นนั้นให้ x เป็นคำตอบเดิม และกำหนดให้ $n \leftarrow n+1$ และทำซ้ำ
- 3) ถ้า $n = n_{\max}$ ให้สุ่มตัวแทนคำตอบใหม่ (Representation) แทนที่ $N(x) \leftarrow N(x'')$ และ กำหนดให้ $l \leftarrow l+1$
- 4) ทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่า $l = l_{\max}$ หรือถึงเงื่อนไขการหยุด

2.2.3.3 วิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) ประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้

- 1) เริ่มตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ ACO ทั้งหมด
- 2) สร้างคำตอบเริ่มต้นจากพารามิเตอร์เริ่มต้นที่ตั้งไว้
- 3) ปรับค่าพารามิเตอร์ ต่าง ๆ ใน ข้อที่ 1 โดยประกอบด้วย 6 พารามิเตอร์ คือ จำนวนรอบที่ต้องการวนซ้ำ (Iteration : l) จำนวนประชากรมด (Ant Population : n) ค่าฟีโรโมน (Pheromone : π) ค่าความน่าสนใจ (Attractiveness : $\omega(i, j)$) ค่าแอลฟา (Alpha: α) และบีตา (Beta: β)
- 4) กำหนดจุดจุดแรกของเส้นทางการเดินรถไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้จุดที่ 1 หรือจุดที่เป็นจุดจอร์ดไฟฟ้าเป็นจุดที่ 1 และจุดสุดท้ายเสมอ
- 5) นำเข้าข้อมูลและสร้างตารางเมตริกซ์ เส้นทางระหว่าง จุดจุด $d_{i,j}$
- 6) สร้างตารางเมตริกซ์เพื่อใช้เก็บค่าฟีโรโมน $\tau_{i,j}$ และ ค่าความน่าสนใจ $\omega_{i,j}$
- 7) คำนวณค่า $\omega_{i,j}$ จากสมการที่ 1 และเก็บค่าไว้ในตารางค่าความน่าสนใจ โดยที่ $\tau_{i,j}^\alpha$ คือค่าฟีโรโมนของการเดินทางระหว่างเมือง i ไปยังเมือง j ที่ให้น้ำหนักด้วยการยกกำลัง ส่วนค่า $\pi_{i,j}^\beta$ คือค่าคงที่ค่าหนึ่งในปัญหา TSP ซึ่งเป็นส่วนกลับของระยะห่างระหว่างจุดจุด 2 จุด ซึ่งค่า $\pi = \frac{1}{d_{i,j}}$
$$\omega(i, j) = \tau_{i,j}^\alpha \times \pi_{i,j}^\beta$$
- 8) สุ่มหาความน่าจะเป็นของจุดจุดที่จะเป็นจุดจุดต่อไปดังสมการที่ 2 โดยค่า S คือชุดเมืองที่ยังไม่ได้ถูกเลือกให้เป็นเส้นทางที่ใช้ผ่านของจุดจุด

$$p_{i,j} = \frac{\tau_{i,j}^\alpha \times \eta_{i,j}^\beta}{\sum_{j=1}^{J \in S} (\tau_{i,j}^\alpha \times \eta_{i,j}^\beta)} = \frac{\omega(i, j)}{\sum_{j=1}^{J \in S} \omega(i, j)}$$

9) ใช้หลักการวงกลมรูเล็ต (Roulette Wheel) เพื่อหาจุดจอตลำดับถัดไปโดยใช้ ค่า $p_{i,j}$ ของแต่ละจุดจอตมาสร้างความเป็นสะสม $cumpop_{i,j}$ ดังสมการที่ โดยกำหนดให้ค่า k คือลำดับของเมืองที่อยู่ในลำดับของผู้แข่งขัน (Candidate List : CL)

$$cumpop_{i,j} = \sum_{k=1}^j p_{i,k}$$

10) สุ่มตัวเลขมา 1 ค่า r ซึ่งค่า r ที่สุ่มได้จะมีค่าอยู่ระหว่าง $\{0,1\}$ ถ้าหากตัวเลขตกอยู่ในช่วงของจุดจอตใด ให้เลือกจุดจอตนั้นเป็นจุดจอตถัดไป

11) ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 8 จนถึงขั้นตอนที่ 10 จนกว่าจะได้จุดจอตครบทุกจุด

12) เมื่อได้เส้นทางและลำดับของจุดจอตแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ ขั้นตอนการปรับค่าฟีโรโมน โดยใช้ส่วนกลับของระยะทางรวมของเส้นทางใหม่ที่หาได้ ดังสมการที่ 3 โดยที่ f คือค่าที่จะใช้ ปรับค่าในตารางเมทริกซ์ โดยที่ j คือจำนวนจุดจอตทั้งหมด

$$f = \frac{1}{\sum_{k=1}^j d_{i,k}}$$

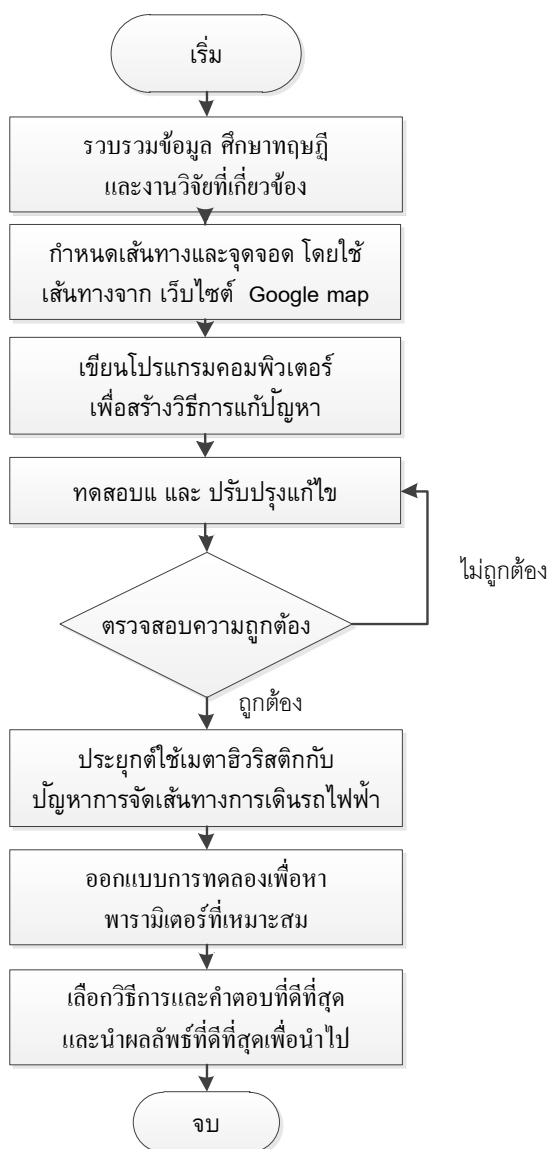
13) ปรับค่า $\tau_{i,j}$ ในเส้นทาง ที่ถูกเลือก ($d_{i,j}$) โดยใช้สมการที่ 4 ส่วนในเส้นทางระหว่างจุดจอตที่ไม่ได้เลือกให้ปรับค่า $\tau_{i,j}$ ดังสมการที่ 5 โดยที่ค่า ρ คือค่า $\tau_{i,j}$ ที่สะท้อนไปถ้าหากเส้นทางนั้นไม่ได้ถูกเลือก

$$\tau_{i,j}^n = (1-\rho)(\tau_{i,j}^{n-1})$$

$$\tau_{i,j}^n = (1-\rho)(\tau_{i,j}^{n-1}) + \pi^l$$

14) ทำจนกว่าซ้ำในขั้นตอนที่ 8 จนถึงขั้นตอนที่ 13 จนกว่า $n = n_{\max}$ ซึ่งจะนับเป็น 1 รอบหรือ $l \leftarrow 1$

15) หยุดเมื่อ $l = l_{\max}$ หรือถึงเงื่อนไขการหยุด



ภาพ 1-4 ขั้นตอนการหาออกแบบเพื่อออกแบบเส้นทางและจุดจอดของรถไฟฟ้าที่เหมาะสม

2.2.4 ทดสอบและตรวจสอบความถูกต้องกับปัญหาอย่างง่าย เพื่อให้ทราบว่าเส้นทางที่โปรแกรมสร้างขึ้นถูกต้องและไม่ละเมิดเงื่อนไข และเพื่อให้สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ได้อย่างเหมาะสม

2.2.5 ประยุกต์ใช้เมตาฮิวริสติกทั้ง 3 วิธีกับปัญหาการจัดเส้นทางรถไฟ ปัญหาถูกแบ่งออกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และ ขนาดใหญ่ โดยแต่ละขนาดจะมีจุดจอดของรถไฟฟ้า 10 15 และ 30 จุด ตามลำดับ

2.2.6 ออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เพื่อทดลองปรับค่าพารามิเตอร์หลายๆ ค่า เพื่อให้ทราบถึงพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหา รวมถึงเพื่อทำให้วิธีการแก้ปัญหามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.2.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีเมตาฮิวริสติกทั้ง 3 วิธี เลือกวิธีการและคำตอบที่ดีที่สุด สรุปผลจากการทดลองและนำผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อออกแบบเส้นทางการวิ่งของรถไฟฟ้าต่อไป

2.3 วิธีการสร้างแบบจำลอง

ลักษณะปัญหา ประชากรจะเริ่มขึ้นรถ ณ จุดจอดบริเวณหน้ามหาวิทยาลัย โดยช่วงเวลาที่พิจารณาคือ 7.00-10.00 ซึ่งเป็นช่วงที่ประชากรมีความหนาแน่นที่สุด รถคันแรกจะออกเวลา 7.05 น. และจะออกทุกๆ เวลา ตามที่โจทย์จะกำหนด ซึ่งประชากรจะเดินทางมาถึง ณ สถานที่ในเวลาที่แตกต่างกันและจะมีเป้าหมายในการเดินทางที่ต่างกัน เนื่องจากไม่มีข้อมูลจริง ดังนั้นข้อมูลก็นำมาใช้ในการกำหนดคือ ตารางการใช้ห้องเรียนของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2558 ตั้งแต่วันจันทร์ – วันอาทิตย์ โดยมีขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองดังนี้

2.3.1 การรวบรวมข้อมูล จำนวนของประชากรจะกำหนดให้เป็น 20% ของยอดทั้งหมดในตารางการใช้ห้องเรียน โดยจะใช้รูปแบบการมาถึงแบบ Exponential และใช้ความถี่ของเวลาเพื่อกำหนดจำนวนประชากร ทำให้แต่ละวัน เวลาการมาถึง จำนวนประชากร และจุดหมาย จะไม่เหมือนกัน แต่ในส่วนของจุดจอดที่ 1-10 เวลาการมาถึงของประชากรถูกกำหนดให้เป็นรูปแบบเดียวกันคือ Exponential โดยกำหนดความถี่ของเวลาเท่ากับ 5 นาที ส่วนการเลือกจุดหมายของประชากร จะกำหนดให้แต่ละจุดจอดมีโอกาสเลือกเท่าๆ กัน และประชากรไม่สามารถเลือกจุดลงและจุดขึ้นเป็นจุดเดียวกันได้ หรือถ้าหากประชากรจะย้อนกลับไป ลงจุดจอดที่รถได้ผ่านมาแล้ว ประชากรต้องเลือกจุดที่จอดบริเวณหน้ามหาวิทยาลัย (จุด P) เพื่อต่อรถคันอื่น

ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างโจทย์ เพื่อออกแบบระบบการเดินรถไฟฟ้าสาธารณะ

วันจันทร์	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	จุดที่ 10	รวม
7.00-8.00	223	63	32	29	5	59	176	548	64	191	2,998
8.00-9.00	311	5	180	29	516	5	241	243	73	5	
โอกาส	18%	2%	7%	2%	17%	2%	14%	26%	5%	7%	100 %

2.3.2 สร้างตัวแบบจำลองและตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลอง สร้างแบบจำลองระบบรถไฟฟ้าสาธารณะในโปรแกรมสำเร็จรูปและทำการตรวจสอบความถูกต้อง ซึ่งทดสอบการโดยพิสูจน์ความจริง (verification) ว่าการทำงานของตัวแบบคล้ายกับระบบที่ต้องการและไม่ละเมิดเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ส่วนในขั้นตอนการมีเหตุผล (validation) ไม่สามารถทำได้เนื่องจากตัวแบบเป็นแค่แนวคิดจึงไม่มีระบบจริงให้ทำการเปรียบเทียบ

2.3.3 ออกแบบโจทย์และทำงานทดลอง พื้นฐานโจทย์ถูกนำมาจาก ตารางการใช้ห้องเรียน ตั้งแต่วันจันทร์ – วันอาทิตย์ ตัวอย่างดังตารางที่ 1 20 % ของ 2,998 หมายความว่า จะมีประชากรมาขึ้นรถ ณ จุดประมาณ 500 คน ซึ่งไม่สามารถระบุจำนวนที่ชัดเจนได้เนื่องจากค่าที่ได้ จำเป็นการสู่การมาถึงแบบ Exponential โดยความถี่ของเวลาจะเป็นการกำหนดจำนวนประชากรให้ใกล้เคียงกับจำนวนประชากรในโจทย์ ส่วนโอกาสในการเลือกจุดลงจอดในแต่ละจุด ใช้จำนวนนักศึกษาที่จะต้องไปเรียนที่ตึกที่อยู่ใกล้กับจุดจอดเป็นตัวกำหนด ยิ่งจำนวนนักศึกษาที่ต้องการที่จะไปมาก โอกาสที่ประชากรเลือกไปลง ณ จุดจอดนั้นก็ยิ่งมากเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ในตารางที่ 1 จุดจอดแรกเป็นจำนวนผู้ที่เดินทางไปยังจุดจอดแรกมี 534 คน ซึ่งเป็น 18% ของ 2,998 ดังนั้นโอกาสที่ประชากรจะเลือกไปลง ณ จุดจอดแรกคือ 18% ซึ่งแต่ละวัน เวลาการมาถึง จำนวนประชากร และจุดหมายของประชากรจะมีความแตกต่างกัน การสร้างแบบจำลองครั้งนี้เพื่อหาความถี่ของการเดินทางที่เหมาะสมในแต่ละวัน ทางเลือกความถี่ของการเดินทางอยู่ที่ 3 5 และ 7 นาทีต่อกัน โดยจะพิจารณาความเหมาะสมจากเวลาการรอคอยและจำนวนของผู้ที่รอรถในแต่ละจุดจอด จากนั้นวิเคราะห์ทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด นำผลการวิเคราะห์ หาข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยที่ได้จากการทดลองการจำลองระบบการขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ซึ่งการแสดงผลลัพธ์จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ส่วนแรกคือการสำรวจความต้องการระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัย ส่วนที่ 2 คือผลลัพธ์จากการทดสอบเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) เพื่อออกแบบเส้นทางและจุดจอดของรถไฟฟ้าที่เหมาะสม และส่วนสุดท้ายคือผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง (Model) เพื่อหาจำนวนรถไฟฟ้าและจำนวนความถี่ที่เหมาะสมในแต่ละวัน

1. การสำรวจผลกระทบที่ส่งผลต่อความต้องการระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

การวิเคราะห์ผลลัพธ์การสำรวจความต้องการระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์กับประชากร นักศึกษาและบุคลากรจำนวน 350 คน

แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับ เพศ อายุ สถานภาพ

ตารางที่ 4-1 จำนวนและร้อยละจำนวนข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ประชากร		จำนวน	ร้อยละ
เพศ	ชาย	113	32.28
	หญิง	237	67.72
อายุ	อายุต่ำกว่า 19 ปี	7	2
	อายุ 19 ปี	180	51.42
	อายุ 20 ปีขึ้นไป	163	46.57
สถานภาพ	นักศึกษา	335	95.71
	บุคลากร	15	4.28

จากตารางที่ 4-1 มีผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 350 คน เป็นเพศชายร้อยละ 32.28 เพศหญิงร้อยละ 67.72 ในส่วนอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม สำหรับผู้ตอบแบบสอบถามที่มีอายุต่ำกว่า 19 ปีมีร้อยละ 2 อายุ 19 ปีร้อยละ 51.42 และผู้ตอบแบบสอบถามที่มีอายุมากกว่า 20 ปีขึ้นไปมีทั้งหมดร้อยละ

46.57 ของผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด ประชากรทั้งหมดของผู้ตอบแบบสอบถามที่เป็นนักศึกษา ร้อยละ 95.71 มีเพียงร้อยละ 4.28 ที่เป็นบุคลากร

1.2 ข้อมูลการสำรวจความต้องการระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

1.2.1 การเดินทางมามหาวิทยาลัย

การสำรวจวิธีการเดินทางมามหาวิทยาลัยแบ่งออกเป็น 4 ประเภทประกอบด้วย การเดินทางมามหาวิทยาลัยโดย รถจักรยานยนต์ รถยนต์ส่วนบุคคล ระบบขนส่งสาธารณะ และอื่นๆ จากตารางที่ 4-2 เป็นผลลัพธ์จากการสำรวจ ซึ่งพบว่าผู้ใช้รถจักรยานยนต์ในการเดินทางมามหาวิทยาลัยร้อยละ 73 ส่วนระบบขนส่งสาธารณะ มีเพียงร้อยละ 21 และที่เหลือร้อยละ 6 คือ นักศึกษาที่ใช้รถยนต์ส่วนบุคคลและวิธีการอื่นๆ ในการเดินทาง

ตารางที่ 4-2 ข้อมูลการสำรวจความต้องการระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ข้อมูลร้อยละของวิธีการเดินทางมามหาวิทยาลัย			
รถจักรยานยนต์	รถยนต์ส่วนบุคคล	ระบบขนส่งสาธารณะ	อื่นๆ
73	5	21	1

สำหรับวิธีการเดินทางเดินทางส่วนใหญ่ของนักศึกษานิยมใช้วิธีการที่สะดวกที่สุดคือ รถจักรยานยนต์ จากการสอบถามพบว่าผู้ใช้จักรยานยนต์เป็นผู้ที่อาศัยอยู่หอพักที่อยู่ไม่ไกลจากมหาวิทยาลัยและผู้ที่อยู่อำเภอรอบนอก ซึ่งผู้ที่อยู่อำเภอรอบนอกให้เหตุผลว่าถ้าหากอาศัยอยู่ที่บ้าน จะประหยัดมากกว่าเนื่องจากหอพักในเมืองมีราคาแพง แต่ต้องแลกด้วยตื่นเช้าเพื่อให้มาทันเวลา ดังนั้นการใช้รถจักรยานยนต์มีความสะดวกเพื่อช่วยให้มาทันเวลา แต่ก็อันตราย ส่วนผู้ใช้ระบบขนส่งสาธารณะส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาที่อยู่อำเภอรอบนอก ซึ่งจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ทั้งค่าหอพักและค่าเดินทาง แต่ต้องตื่นเช้ากว่าวิธีการเดินทางแบบอื่นเพราะต้องใช้เวลามากขึ้น เนื่องจากต้องมารอรถและต้องเดินเท้าเข้ามาหาวิทยาลัยไปยังอาคารเรียน ส่วนรถยนต์เป็นวิธีการที่สะดวกแต่มีค่าใช้จ่ายสูง จึงมีผู้ใช้วิธีการเดินทางด้วยวิธีนี้ไม่มากนัก

1.2.2 ผู้ที่เคยใช้ระบบขนส่งรถไฟฟ้าสาธารณะในมหาวิทยาลัยอื่น

การสำรวจผู้ที่เคยใช้ระบบขนส่งรถไฟฟ้าสาธารณะในมหาวิทยาลัยอื่น จากตารางที่ 4-3 มีผู้ที่เคยใช้ระบบขนส่งรถไฟฟ้าสาธารณะในมหาวิทยาลัยอื่นเพียงร้อยละ 13 เท่านั้น ส่วนร้อยละ 75 ไม่เคยใช้และ ร้อยละ 12 ไม่ทราบว่ามี

ตารางที่ 4-3 ข้อมูลการสำรวจความต้องการระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ข้อมูลร้อยละของผู้ที่เคยใช้ระบบขนส่งรถไฟฟ้าสาธารณะในมหาวิทยาลัยอื่น		
เคย	ไม่เคย	ไม่ทราบว่ามี
13	75	12

ซึ่งสรุปได้ว่าความคุ้นเคยของนักศึกษาและบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่มีต่อระบบขนส่งสาธารณะมีไม่มากนัก เนื่องจากมีผู้ใช้มีเพียงร้อยละ 13 และอีกร้อยละ 87 ไม่เคยใช้บริการและไม่ทราบว่ามี

1.2.3 ความคิดเห็นถ้าหากนำระบบขนส่งสาธารณะมาใช้ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

สำรวจความคิดเห็นสำหรับการนำระบบรถไฟฟ้ามาใช้ จากตารางที่ 4-4 มีผู้ที่เห็นด้วยกับการนำระบบขนส่งรถไฟฟ้าสาธารณะมาใช้ในมหาวิทยาลัยถึงร้อยละ 65 โดยให้เหตุผลว่าเป็นทางเลือกในการเดินทางที่เพิ่มขึ้น และจะลดความคับคั่งของการจราจรในมหาวิทยาลัยในช่วงเวลาที่เร่งด่วน ทำให้มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ส่วนผู้ที่ไม่เห็นด้วยมีร้อยละ 19 ซึ่งส่วนใหญ่คิดว่าไม่ได้ใช้และไม่คิดว่ามีประโยชน์ และสุดท้ายร้อยละ 16 ไม่แน่ใจ

ตารางที่ 4-4 การสำรวจความคิดเห็นสำหรับการนำระบบรถไฟฟ้าสาธารณะมาใช้

ข้อมูลร้อยละความคิดเห็นสำหรับการนำระบบรถไฟฟ้ามาใช้		
เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วย	ไม่แน่ใจ
65	19	16

ซึ่งสรุปได้ว่าส่วนใหญ่เห็นว่าการนำระบบรถไฟฟ้า มีประโยชน์เนื่องจากทำให้มีทางเลือกในการเดินทางที่เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังอาจทำให้ลดความปัญหาจากการจราจรให้น้อยลง ความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น แต่มีประชากรส่วนหนึ่งที่ยังไม่เห็นประโยชน์เนื่องจากไม่เคยได้รับผลกระทบจากปัญหาดังกล่าว

1.2.4 การได้รับประโยชน์เนื่องจากการนำระบบรถไฟฟ้าสาธารณะมาใช้

จากการสำรวจความคิดเห็นการได้รับประโยชน์เนื่องจากการนำระบบรถไฟฟ้าสาธารณะมาใช้ จากตารางที่ 4-5 เป็นการสำรวจข้อมูลดังกล่าว ซึ่งพบว่าร้อยละ 43 พบว่าตนจะได้รับประโยชน์ถ้าหากมีการนำระบบรถไฟฟ้าสาธารณะมาใช้ เนื่องจากสามารถปรับเปลี่ยน

พฤติกรรม และเพิ่มความยืดหยุ่นในการเดินทางมามหาวิทยาลัยได้มากขึ้น รวมถึงระหว่างวันสามารถใช้ระบบรถไฟฟ้าเดินทางภายในมหาวิทยาลัยได้ทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้

ตารางที่ 4-5 การสำรวจความคิดเห็นการได้รับประโยชน์เนื่องจากการนำระบบรถไฟฟ้าสาธารณะมาใช้

ข้อมูลร้อยละการสำรวจความคิดเห็นประโยชน์เนื่องจากการนำระบบรถไฟฟ้าสาธารณะมาใช้		
ได้รับ	ไม่ได้รับ	ไม่แน่ใจ
43	15	42

ส่วนร้อยละ 15 คิดว่าไม่ได้ใช้ประโยชน์จากระบบรถไฟฟ้าสาธารณะแน่นอน เนื่องจากไม่สะดวกเนื่องจากเวลาการรอคอย และอีกร้อยละ 42 ไม่แน่เนื่องจากยังไม่เห็นความชัดเจนว่าถ้าหากนำมาใช้จะรอนานหรือไม่ จะปลอดภัย และมีความสะดวกในการเดินมากกว่าวิธีการเดินทางแบบเดิมหรือไม่

1.2.5 การเปลี่ยนแปลงวิธีการเดินทางมาใช้บริการรถไฟฟ้าสาธารณะ

ข้อมูลจากตารางที่ 4-6 นักศึกษาและบุคลากรส่วนใหญ่ไม่คิดที่จะเปลี่ยนแปลงการเดินทางเนื่องจากมีความสะดวกกว่าการเดินทางด้วยระบบรถไฟฟ้าสาธารณะ ซึ่งประชากรส่วนใหญ่เห็นว่าระบบรถไฟฟ้าสาธารณะมีไว้สำหรับเป็นทางเลือกในการเดินทางภายในมหาวิทยาลัยเท่านั้น มีเพียงร้อยละ 8 เท่านั้นที่จะใช้การเดินทางด้วยวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการเดินทางหลัก และส่วนใหญ่อาศัยอยู่ภายในมหาวิทยาลัยและเป็นผู้ที่ใช้วิธีการเดินทางจากระบบขนส่งสาธารณะ และใช้ระบบรถไฟฟ้าสาธารณะในมหาวิทยาลัยเพื่อต่อรถไปยังอาคารเรียน ซึ่งปกติจะใช้วิธีการเดิน

ตารางที่ 4-6 การสำรวจความคิดเห็นในการเปลี่ยนแปลงวิธีการเดินทางมาใช้บริการระบบรถไฟฟ้าสาธารณะ

ข้อมูลร้อยละการสำรวจความคิดเห็น การเปลี่ยนแปลงมาใช้บริการรถไฟฟ้าสาธารณะเป็นการเดินทางหลัก		
เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	ไม่แน่ใจ
8	79	13

อีกร้อยละ 13 ก็ยังไม่แน่ใจเนื่องจากไม่เคยใช้บริการระบบรถไฟฟ้าสาธารณะมาก่อน ดังนั้นจึงไม่สามารถบอกได้ แต่ถ้าหากในอนาคตมีการนำระบบดังกล่าวมาใช้ อาจมีการพิจารณาใหม่อีกครั้ง

1.2.6 สาเหตุใดที่ทำให้ต้องหันไปใช้ระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัย

ข้อมูลจากตารางที่ 4-7 พบว่านักศึกษาและบุคลากรส่วนใหญ่ต้องการความสะดวกในการเดินทางมากที่สุด ซึ่งจะหันมาใช้ถ้าหากระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยมีความสะดวกกว่ายานพาหนะส่วนบุคคล

ตารางที่ 4-7 ข้อมูลการสำรวจความคิดเห็นสาเหตุใดที่ทำให้ต้องหันไปใช้ระบบขนส่งสาธารณะ

ข้อมูลร้อยละการสำรวจความคิดเห็นสาเหตุ ที่ทำให้ต้องหันไปใช้ระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัย			
ค่าเดินทาง	ความปลอดภัย	ความสะดวก	การเดินทางต่อจากระบบขนส่งสาธารณะ
7	3	78	12

ส่วนประชากรร้อยละ 12 ให้ความเห็นที่ว่าถ้าหากมีระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยจะทำให้การเดินทางมีความสะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น เพราะประชากรกลุ่มนี้ต้องเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะจะสิ้นสุดที่หน้ามหาวิทยาลัย ทำให้ต้องเดินเท้าต่อไปยังอาคารเรียนหรือให้เพื่อนร่วมชั้นมารับ ส่วนร้อยละ 7 ให้เหตุผลว่าสามารถจอดพาหนะส่วนบุคคลไว้แล้วใช้บริการระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยเพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายเมื่อเดินทางภายในมหาวิทยาลัย และสุดท้ายอีกร้อยละ 3 ให้เหตุผลว่าช่วงเช้าและช่วงเลิกเรียนการจราจรในมหาวิทยาลัยการจราจรค่อนข้างวุ่นวายส่งผลให้เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุได้

จากการสำรวจจะเห็นได้ว่าการนำระบบรถไฟฟ้ามาใช้ อาจจะไม่ได้รับการตอบรับมากนัก เนื่องจากนักศึกษาและบุคลากรส่วนใหญ่ยังไม่แน่ใจว่าจะได้รับประโยชน์จากการนำระบบดังกล่าวมาใช้ได้อย่างเต็มที่ ซึ่งถ้าหากให้มาใช้ระบบขนส่งสาธารณะมาใช้เพื่อเดินทางเป็นหลัก ประชากรส่วนใหญ่ก็ไม่คิดจะเปลี่ยนเนื่องจากการใช้ยานพาหนะส่วนบุคคล เนื่องจากวิธีการเดินทางแบบเก่ายังมีความสะดวกกว่าและการจราจรในมหาวิทยาลัยก็ไม่คับคั่งมากนักทำให้การรอคอยรถไฟฟ้าอาจทำให้เสียเวลามากกว่าการเดินทางโดยใช้ยานพาหนะส่วนบุคคล ส่วนคนที่คิดว่าจะได้รับประโยชน์จากระบบการขนส่งสาธารณะภายในมหาวิทยาลัยจะเป็นประชากรที่จำเป็นจริง ๆ ที่จะต้องใช้เพื่อเดินทางต่อจากระบบขนส่งสาธารณะแบบอื่น

2. ผลลัพธ์จากการทดสอบเมตาฮีริสติก (Metaheuristic) เพื่อออกแบบเส้นทางและจุดจอดของรถไฟฟ้าที่เหมาะสม

ในการหาเส้นทางที่เหมาะสมของระบบรถไฟฟ้าสาธารณะ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เมตาฮีริสติก 3 วิธีคือ วิธีการค้นหาเฉพาะที่ การค้นหาเฉพาะที่แบบวนซ้ำ และวิธีการอนุกรมวิธาน กับปัญหา 3 ขนาด ประกอบไปด้วย ปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และ ขนาดใหญ่ โดยในการหาผลลัพธ์จะใช้วิธีการออกแบบการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อให้เมตาฮีริสติกมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบมากที่สุด โดยสามารถอธิบายรายละเอียดของแต่ละวิธีการได้โดยสังเขปดังนี้

2.1 ผลลัพธ์จากการทดสอบประสิทธิภาพวิธีการค้นหาเฉพาะที่ โดยมีการกำหนดจำนวนครั้งในการพัฒนาคำตอบจำนวน 200,000 คำตอบ (N) โดยมีการทดลองซ้ำจำนวน 30 ครั้ง และมีการกำหนดค่าเริ่มต้น (seed) เท่ากับ 777 ดังตารางที่ 4-8 ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยสังเขปดังนี้

2.1.1 ปัญหาขนาดเล็ก

จากการทดลองพบว่าในปัญหาขนาดเล็กจำนวน 10 จุดจอด LC สามารถหาจัดเส้นทางการเดินทางรถไฟฟ้าสาธารณะได้ระยะทางสั้นที่สุดเท่ากับ 3,580 เมตร หรือ 3.58 กิโลเมตร ส่วนค่าเฉลี่ยของการทดลองซ้ำจำนวน 30 ครั้งเท่ากับ 4,596 เมตร

2.1.2 ปัญหาขนาดกลาง

จากการทดลองพบว่าในปัญหาขนาดกลางจำนวน 15 จุดจอด LC สามารถหาจัดเส้นทางการเดินทางรถไฟฟ้าสาธารณะได้ระยะทางสั้นที่สุดเท่ากับ 4,730 เมตร หรือ 4.73 กิโลเมตร ส่วนค่าเฉลี่ยของการทดลองซ้ำจำนวน 30 ครั้งเท่ากับ 7,198 เมตร

2.1.3 ปัญหาขนาดใหญ่

จากการทดลองพบว่าในปัญหาขนาดกลางจำนวน 30 จุดจอด LC สามารถหาจัดเส้นทางการเดินทางรถไฟฟ้าสาธารณะได้ระยะทางสั้นที่สุดเท่ากับ 6,865 เมตร หรือ 6.86 กิโลเมตร ส่วนค่าเฉลี่ยของการทดลองซ้ำจำนวน 30 ครั้งเท่ากับ 14,468 เมตร

2.2 ผลลัพธ์จากการทดสอบประสิทธิภาพวิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบวนซ้ำ (ILS) ซึ่งพัฒนามาจาก LS โดยการเพิ่มกลยุทธ์เพื่อให้ LS สามารถหลีกเลี่ยงไม่ให้คำตอบไปติดที่คำตอบที่ดีที่สุดที่ย่านคำตอบใกล้เคียง โดยอาศัยเพิ่มเติมฟังก์ชันในการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การปรับปรุงคำตอบ ย่านคำตอบใกล้เคียง เมื่อคำตอบไปติดอยู่ที่คำตอบใกล้เคียงตามจำนวนที่กำหนด ซึ่งการกำหนดจำนวนครั้งในการปรับปรุงคำตอบจะถูกนำมาใช้นำมาเป็นการกำหนดรูปแบบ 3 รูปแบบ โดยยินยอมให้มีการปรับปรุงคำตอบในย่านคำตอบใกล้เคียงแล้วคำตอบไม่ดีกว่าเดิม (N_f) จำนวน 500, 1,000 และ 1,500 ครั้ง และมีการกำหนดค่าเริ่มต้น (seed) เท่ากับ 777 ซึ่งถ้าหากครบจำนวนครั้งที่กำหนดจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยการสุ่มตัวแทนคำตอบใหม่ทันทีเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

โดยมีการกำหนดจำนวนครั้งในการพัฒนาคำตอบจำนวน 200,000 คำตอบ (N) โดยมีการทดสอบซ้ำจำนวน 10 ครั้ง ในแต่ละรูปแบบ ตามที่ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4-8

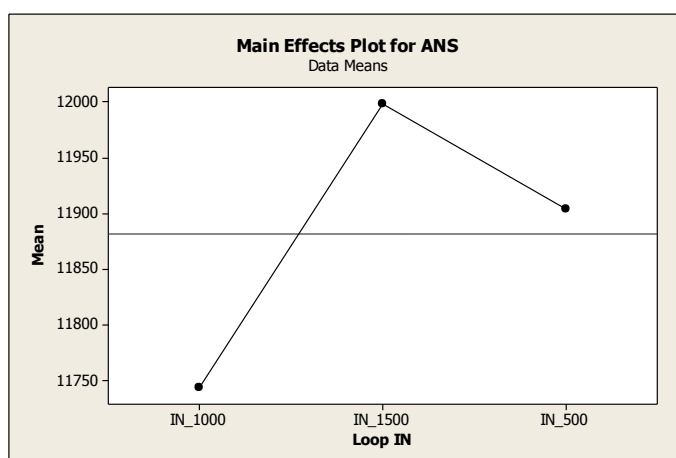
ตาราง 4-8 แสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการหาคำตอบของ LS และ ILS

เมตาฮีริสติกส์		พารามิเตอร์		
LS	N	200,000		
	N_I	-		
ILS	N	200,000		
	N_I	500	1,000	1,500

2.2.1 ผลลัพธ์จากการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับวิธีการ ILS

2.2.1.1 ปัญหขนาดเล็ก

จากการทดลองพบว่าในปัญหขนาดเล็กจำนวน 10 จุดจุด สามารถแสดงผลกระทบจากปัจจัยหลักได้ดังตาราง 4-9 ซึ่ง P-value มีค่าเท่ากับ 0.034 แสดงให้เห็นว่าผลกระทบจากปัจจัยหลักไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และจากภาพ 4-1 ควรกำหนดให้ใช้ยินยอมให้มีการปรับปรุงคำตอบในย่านคำตอบใกล้เคียงแล้วคำตอบไม่ดีกว่าเดิม 1,000 คำตอบก่อนสลับตัวแทนคำตอบใหม่ ในการหาผลลัพธ์ เนื่องจากค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการทดลองซ้ำจำนวน 10 ครั้ง มีค่าต่ำที่สุดคือ 3,436 เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับหาคำตอบรูปแบบอื่น



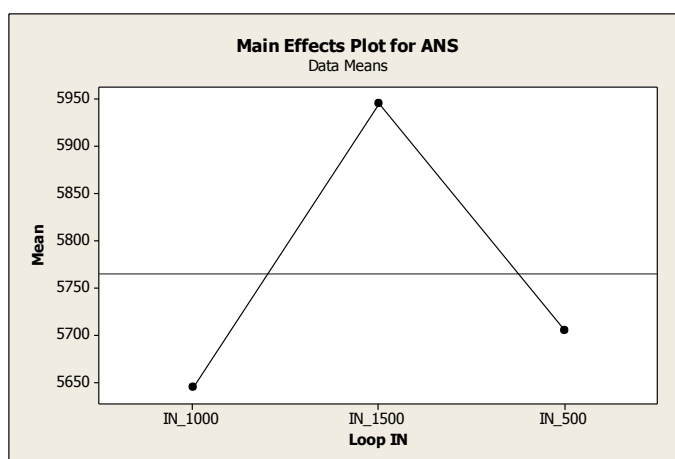
ภาพที่ 4-1 ผลกระทบจากปัจจัยหลักของปัญหขนาดเล็ก โดยใช้ ILS

ตาราง 4- 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยโดยใช้ ILS ในปัญหามานกลาง

Source	DF	SS	MS	F	P
Loop IN	2	239807	119903	3.83	0.034
Error	27	844730	31286		
Tota	29	1084537			

2.2.1.2 ปัญหามานกลาง

จากการทดลองพบว่าในปัญหามานกลางจำนวน 15 จุดจุด สามารถแสดงผลกระทบจากปัจจัยหลักได้ดังตาราง 4-10 ซึ่ง P-value มีค่าเท่ากับ 0.225 แสดงให้เห็นว่าผลกระทบจากปัจจัยหลักไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และจากภาพ 4-2 ควรกำหนดให้ใช้ยินยอมให้มีการปรับปรุงคำตอบในย่านคำตอบใกล้เคียงแล้วคำตอบไม่ดีกว่าเดิม 1,000 คำตอบก่อนสุ่มตัวแทนคำตอบใหม่ ในการหาผลลัพธ์ เนื่องจากค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการทดลองซ้ำจำนวน 10 ครั้ง มีค่าต่ำที่สุดคือ 5,645 เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับการหาคำตอบรูปแบบอื่น



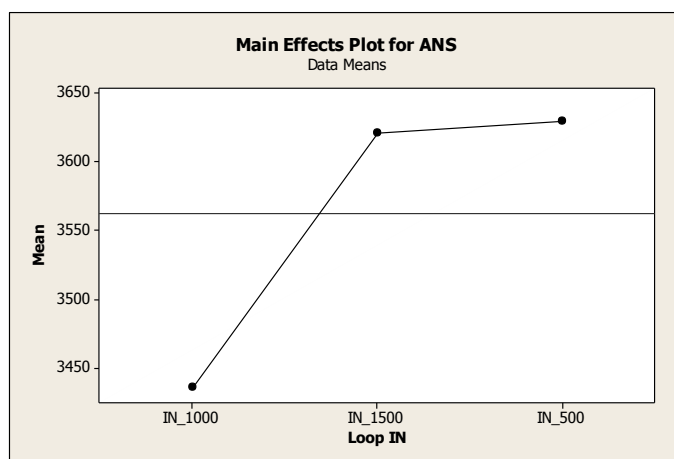
ภาพที่ 4-2 ผลกระทบจากปัจจัยหลักของปัญหามานกลางโดยใช้ ILS

ตาราง 4- 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยโดยใช้ ILS ในปัญหามานกลาง

Source	DF	SS	MS	F	P
Loop IN	2	501607	250803	1.58	0.225
Error	27	4292730	158990		
Tota	29	4794337			

2.2.1.3 ปัญหาขนาดใหญ่

จากการทดลองพบว่าในปัญหาขนาดเล็กจำนวน 30 จุดจุด สามารถแสดงผลกระทบจากปัจจัยหลักได้ดังตาราง 4-11 ซึ่ง P-value มีค่าเท่ากับ 0.422 แสดงให้เห็นว่าผลกระทบจากปัจจัยหลักไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และจากภาพ 4-3 ควรกำหนดให้ใช้ยินยอมให้มีการปรับปรุงคำตอบในย่านคำตอบใกล้เคียงแล้วคำตอบไม่ดีกว่าเดิมจำนวน 1,000 คำตอบก่อนสลับตัวแทนคำตอบใหม่ ในการหาผลลัพธ์ เนื่องจากค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการทดลองซ้ำจำนวน 10 ครั้ง มีค่าต่ำที่สุดคือ 11,744 เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับการหาคำตอบรูปแบบอื่น



ภาพที่ 4-3 ผลกระทบจากปัจจัยหลักของปัญหาขนาดใหญ่โดยใช้ ILS

ตาราง 4- 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยโดยใช้ ILS ในปัญหาขนาดใหญ่

Source	DF	SS	MS	F	P
Loop IN	2	239807	119903	3.83	0.422
Error	27	844730	31286		
Tota	29	1084537			

2.3 ผลลัพธ์จากการทดสอบประสิทธิภาพอาณานิคมมด โดยมีการกำหนดจำนวนครั้งในการพัฒนาคำตอบจำนวน 200,000 คำตอบ ซึ่งในการหาปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาประสิทธิภาพเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมของวิธีการอาณานิคมมด ประกอบ 6 ปัจจัยคือ จำนวนรอบที่ต้องการวนซ้ำ (Iteration : I) จำนวนประชากรมด (Ant Population : n) ค่าฟีโรโมน (Pheromone : π) ค่าความ

น่าสนใจ (Attractiveness : $\omega(i, j)$) ค่าแอลฟา (Alpha: α) และบีตา (Beta: β) โดยมีการทดสอบซ้ำจำนวน 10 ครั้ง ในแต่ละรูปแบบซึ่งจากการทดสอบเบื้องต้นสามารถกำหนดรูปแบบตามที่ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4-8 ซึ่งค่าฟีโรโมนและค่าบีตาจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการทดลองเบื้องต้นพบว่ามีผลไม่มากที่จะทำให้ค่าตอบมีการเปลี่ยนแปลง โดยที่ค่าฟีโรโมนจะถูกกำหนดไว้ที่ 1 และค่าบีตาจะถูกกำหนดไว้ที่ 2 ในทุกรูปแบบการหาคำตอบ

ตาราง 4-12 แสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานของ ACO

จำนวนประชากรมด และจำนวนรอบที่ ต้องวนซ้ำ (l, n)		ค่าฟีโรโมน (Pheromone : π)	ค่าแอลฟา (Alpha: α)	บีตา (Beta: β)
จำนวนมด (n)	จำนวนรอบ (l)			
50	4,000	1.0	1.0	2.0
100	2,000	1.0	1.5	2.0
200	1,000	1.0	2.0	2.0

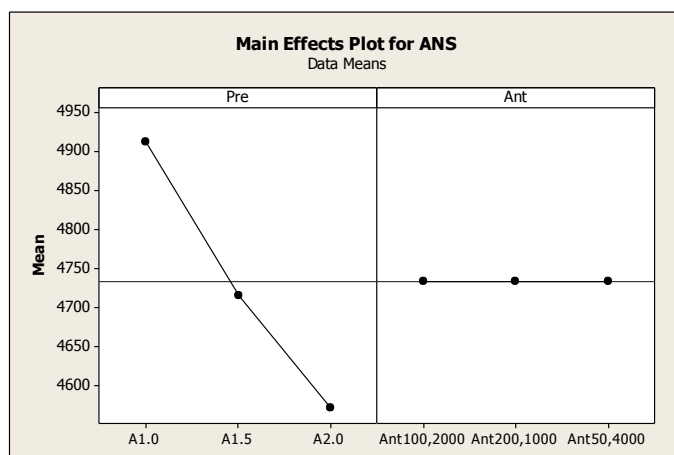
2.3.1 การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหา ACO

2.3.1.1 ปัญหามดขนาดเล็ก

ปัญหามดขนาดเล็ก ACO สามารถหาคำตอบได้เท่ากันทุกรูปแบบที่กำหนด โดยสามารถ หาเส้นทางของระบบรถไฟฟ้าสาธารณะได้ค่าต่ำที่สุดเท่ากับระยะทาง 3,120 เมตร หรือ 3.120 กิโลเมตร เพราะฉะนั้นจึงไม่มีการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม แต่ถ้าหากมีการเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยเลือกจากค่าพารามิเตอร์ที่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดคือ จำนวนประชากรมดเท่ากับ 200 ตัว จำนวนการวนซ้ำเท่ากับ 1,000 รอบและค่าแอลฟาเท่ากับ 2.0

2.3.1.2 ปัญหามดขนาดกลาง

ปัญหามดขนาดกลาง สามารถแสดงผลกระทบจากปัจจัยหลักได้ดังตาราง 14 ซึ่ง P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 แสดงให้เห็นว่าค่าแอลฟามีผลกระทบจากปัจจัยหลัก มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และจากกราฟในภาพ 4-4 ควรกำหนดให้ใช้ ค่าแอลฟาเท่ากับ 2.0 ในการหาผลลัพธ์ ส่วนการกำหนดจำนวนประชากรมดและจำนวนรอบที่ต้องวนซ้ำไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%



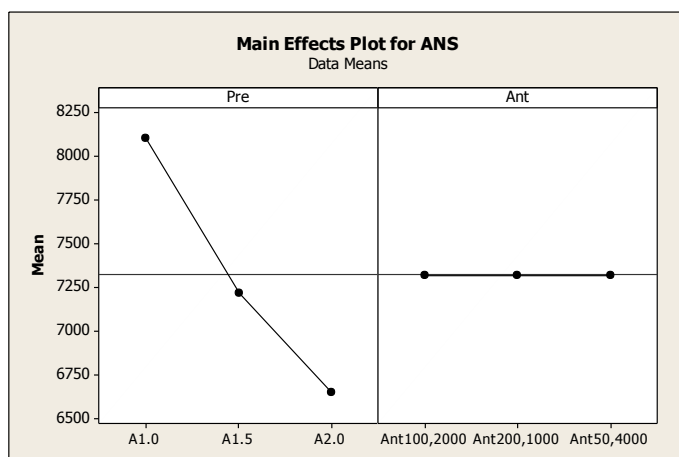
ภาพ 4-4 ผลกระทบจากปัจจัยหลักของปัญหานาคกลาง

ตาราง 4-13 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยโดยใช้ ACO ของปัญหานาคกลาง

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pre	2	1758260	175826	879130	204.26	0.000
Ant	2	0	0	0	0.00	1.000
Pre*Ant	4	0	0	0		
Error	81	348630	348630	4304		
Total	89	2106890				

2.3.1.3 ปัญหานาคใหญ่

ปัญหานาคกลาง สามารถแสดงผลกระทบจากปัจจัยหลักได้ดังตาราง 4- ซึ่ง P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 แสดงให้เห็นว่าค่าแอลฟามีผลกระทบจากปัจจัยหลัก มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และจากกราฟในภาพ 4-5 ควรกำหนดให้ใช้ ค่าแอลฟา เท่ากับ 2.0 ในการหาผลลัพธ์ ส่วนการกำหนดจำนวนประชากรและจำนวนรอบที่ต้องวนซ้ำไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%



ภาพ 4-5 ผลกระทบจากปัจจัยหลักของปัญหขนาดใหญ

ตาราง 4-14 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยโดยใช้ ACO ของปัญหขนาดใหญ

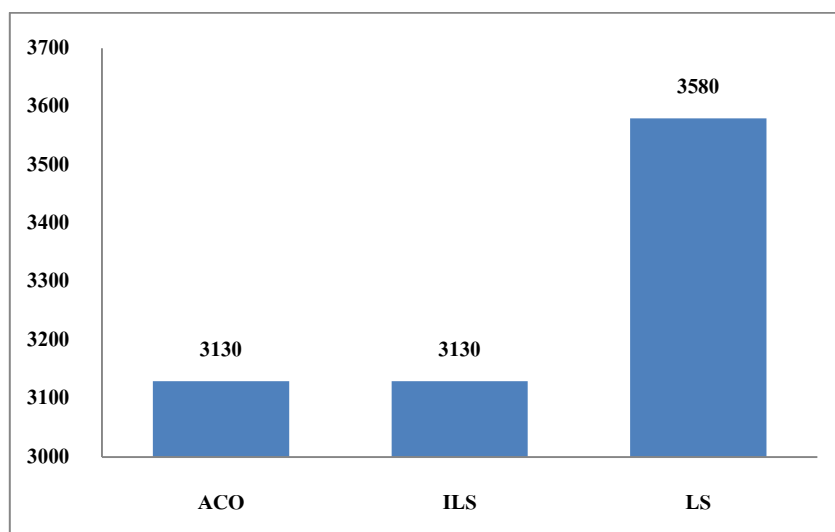
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pre	2	32486240	32486240	16243120	395.28	0.000
Ant	2	0	0	0	0.00	1.000
Pre*Ant	4	0	0	0	0.00	1.000
Error	81	3328495	3328495	41093		
Total	89	35814734				

2.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการแก้ปัญหาโดยใช้เมตาฮิวริสติกทั้ง 3 วิธี

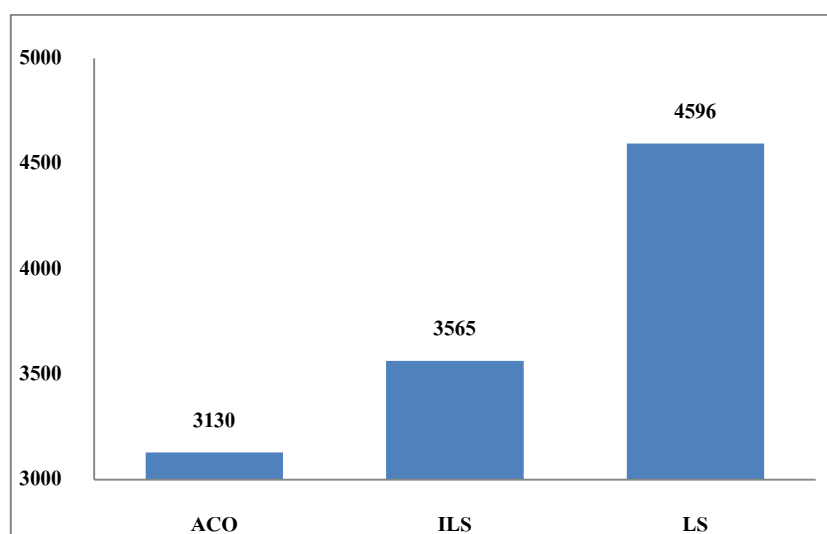
หลังจากทราบพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแล้ว ในขั้นตอนต่อไปเป็นการนำพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละวิธีมาใช้หาผลลัพธ์ โดยทำการทดลองหาผลลัพธ์ซ้ำจำนวน 30 รอบโดยแต่ละรอบมีการปรับปรุงคำตอบจำนวน 200,000 คำตอบและมีการกำหนดค่าเริ่มต้น (seed) เท่ากับ 777 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

2.4.1 ปัญหขนาดเล็

ในปัญหขนาดเล็ ACO และ ILS สามารถหาผลลัพธ์และค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ได้ต่ำที่สุดเท่ากันคือ 3,130 เมตร และถ้าหากประเมินประสิทธิภาพของจากการหาคำตอบซ้ำทั้ง 30 ครั้ง ACO สามารถหาคำตอบที่ต่ำที่สุดคือ 3,130 เมตรได้ทุกครั้ง ส่วน ILS มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบรองลงมาซึ่งมีค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์เท่ากับ 3,565 เมตร ส่วน LS เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบต่ำที่สุดถ้าหากเปรียบเทียบกันโดยใช้ค่าเฉลี่ย โดยมีค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์เท่ากับ 4,596 เมตร



ภาพ 4-6 ระยะทางที่ต่ำที่สุดจากการทดลองหาผลลัพธ์ในปัญหามานกลาง

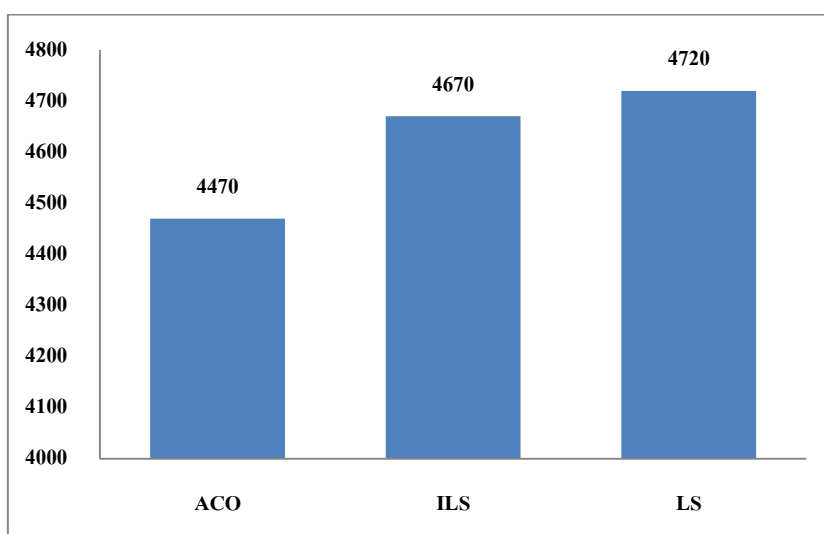


ภาพ 4-7 ระยะทางที่ต่ำที่สุดเฉลี่ยจากการทดลองหาผลลัพธ์ในปัญหามานกลาง

2.4.2 ปัญหามานกลาง

ส่วนในปัญหามานกลาง ACO สามารถจัดการการเดินรถไฟฟ้าสาธารณะได้ต่ำที่สุดคือ 4,470 ส่วน ILS มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบน้อยกว่า ACO ซึ่งสามารถหาผลลัพธ์ได้เท่ากับ 4,670 เมตร ส่วน LS ยังคงเป็นวิธีการหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดโดยสามารถหาคำตอบที่ต่ำที่สุดได้เท่ากับ 4,720 แต่ระยะทางรวมก็ไม่ต่างจาก ACO และ ILS มากนัก และถ้าหาก

ประเมินประสิทธิภาพของจากค่าเฉลี่ยจากการหาคำตอบซ้ำทั้ง 30 ครั้ง ACO สามารถหาคำตอบที่ต่ำที่สุดเช่นกันโดยสามารถหาค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ได้เท่ากับ 4,575 เมตร ส่วน ILS มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบรองลงมาซึ่งมีค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์เท่ากับ 5,841 เมตร ส่วน LS เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบต่ำที่สุดถ้าหากเปรียบเทียบกันทั้ง 3 วิธีโดยใช้ค่าเฉลี่ย โดยมีค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์เท่ากับ 7,198 เมตร



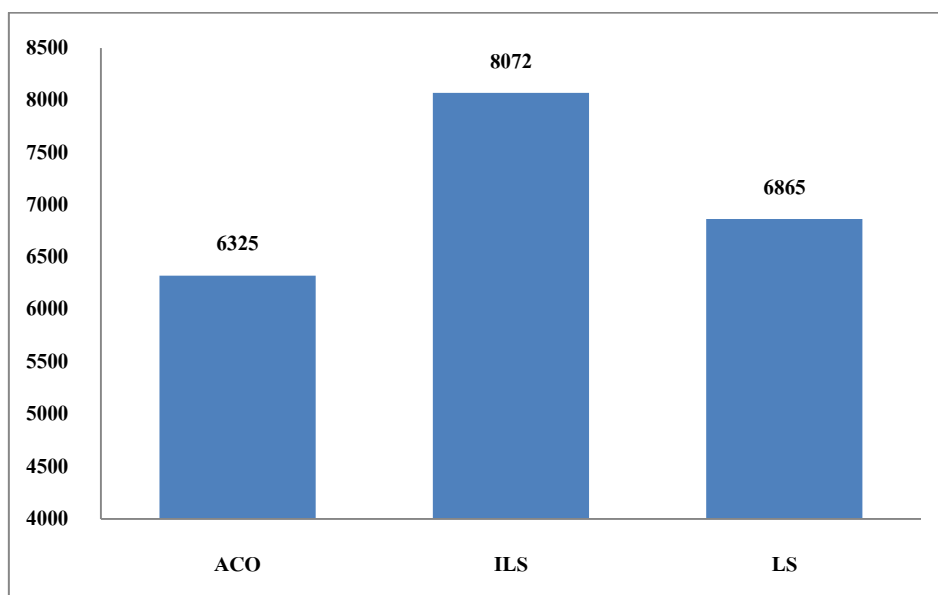
ภาพ 4-8 ระยะทางที่ต่ำที่สุดจากการทดลองหาผลลัพธ์ในปัญหามานกลาง



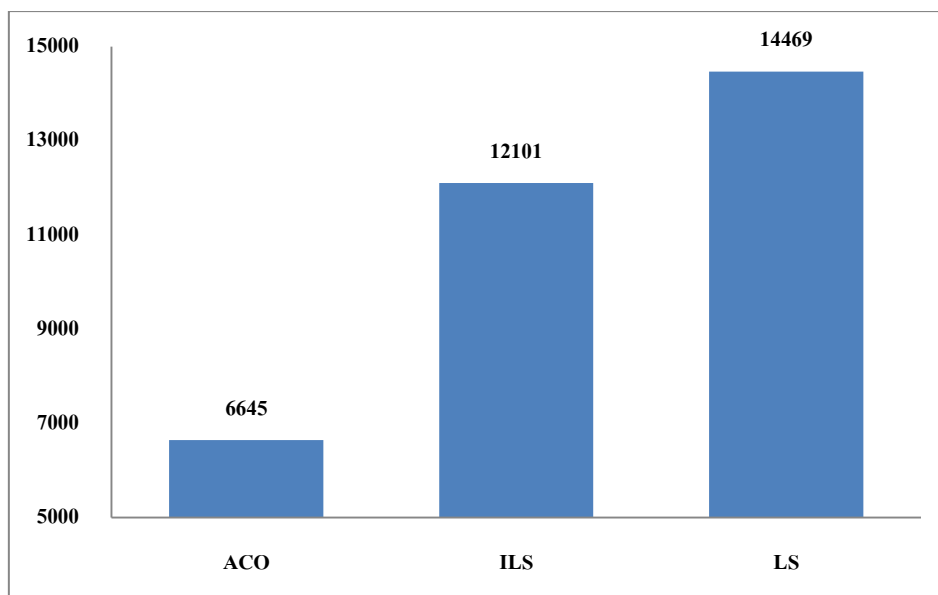
ภาพ 4-9 ระยะทางที่ต่ำที่สุดเฉลี่ยจากการทดลองหาผลลัพธ์ในปัญหามานกลาง

2.4.3 ปัญหาขนาดใหญ่

สุดท้ายในปัญหาขนาดใหญ่ ACO สามารถจัดการตารางการเดินทางไฟฟ้าสาธารณะได้ต่ำที่สุดคือ 6,325 ส่วน ILS มีกลายเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดใน 3 วิธีโดย LS เป็นวิธีการหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพรองจาก ACO โดยสามารถหาคำตอบที่ต่ำที่สุดได้เท่ากับ 6,865 ซึ่งต่ำกว่า ILS ที่มีฟังก์ชันในการหลีกเลี่ยงไม่ให้คำตอบไปติดในย่านคำตอบใกล้เคียงโดยที่ ILS สามารถหาคำตอบที่ต่ำที่สุดได้ 8,072 เมตร แต่ถ้าหากประเมินประสิทธิภาพของจากค่าเฉลี่ยจากการหาคำตอบซ้ำทั้ง 30 ครั้ง ACO สามารถหาคำตอบที่ต่ำที่สุดเช่นกันโดยสามารถหาค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ได้เท่ากับ 6,645 เมตร แต่กลายเป็น ILS ที่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบรองลงมาจาก ACO ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์เท่ากับ 12,101 เมตร โดยมากกว่า ACO ถึง 5,456 เมตร ส่วน LS เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบต่ำที่สุดถ้าหากเปรียบเทียบกันทั้ง 3 วิธีเช่นเดิมถึงแม้ว่าจะสามารถจัดเส้นทางการเดินทางได้ต่ำกว่า ILS โดยมีค่าเฉลี่ยในการหาคำตอบซ้ำเท่ากับ 14,469 เมตร ซึ่งมากกว่า ILS ถึง 2,368 เมตรหรือ 2.36 กิโลเมตร



ภาพ 4-10 ระยะทางที่ต่ำที่สุดจากการทดลองหาผลลัพธ์ในปัญหาขนาดใหญ่



ภาพ 4-11 ระยะทางที่ต่ำที่สุดเฉลี่ยจากการทดลองหาผลลัพธ์ในปัญหามหาศาล

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบ ACO ที่มีความซับซ้อนและมีการหลีกเลี่ยงไม่ให้คำตอบไปติดในย่านคำตอบใกล้เคียงมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบได้ดีที่สุดใน 3 วิธี รองลงมาคือ ILS :ซึ่งมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบโดยรวมจะดีกว่า LS ที่มีความซับซ้อนน้อยกว่า แต่ในปัญหามหาศาล LS สามารถจัดเส้นทางเดินทางได้ระยะสั้นกว่า LS อาจจะเป็นเพราะเนื่องจากพื้นที่การหาคำตอบของปัญหามหาศาลทำให้ LS ที่ใช้การเน้นหาคำตอบ ในย่านพื้นที่การหาคำตอบใกล้เคียงเดิม (Exploitation) สามารถหาคำตอบได้ดีกว่า ILS ที่ใช้วิธีการกระจายการหาคำตอบในย่านพื้นที่คำตอบเมื่อคำตอบไม่มีดีขึ้นครบจำนวนครั้งที่กำหนด (Exploration) โดยที่ ILS อาจจะค้นหาคำตอบได้ไม่ทั่วบริเวณ ทำให้พลาดโอกาสที่จะเจอคำตอบที่ดีกว่าในพื้นที่นั้นๆ ซึ่งอาจแก้ไขโดยเพิ่มจำนวนครั้งในการพัฒนาคำตอบในย่านพื้นที่คำตอบใกล้เคียงให้มากขึ้น เพื่อให้ ILS ค้นหาคำตอบได้ทั่วบริเวณมากขึ้นก่อนการเปลี่ยนแปลงย่านคำตอบใกล้เคียงหรือตัวแทนคำตอบ

งานวิจัยชิ้นนี้จะนำเอาผลลัพธ์จากการแก้ปัญหามหาศาลเล็กไปใช้ในการสร้างตัวแบบสำหรับการจำลองระบบรถไฟฟ้ามหานครเพียงปัญหาเดียว โดยเริ่มจากจุดเริ่มต้น (จุด P) จากนั้นไปยังจุดจอดที่ 1 2 3 4 7 5 6 10 8 9 ตามลำดับ จากนั้นกลับไปจุดเริ่มต้น รวมระยะทางทั้งสิ้น 3,130 เมตร หรือ 3.130 กิโลเมตร แต่ในปัญหามหาศาลกลางและขนาดใหญ่นำมาใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการหาผลลัพธ์ในปัญหาที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นเท่านั้น

3. ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง (Model) เพื่อหาจำนวนรถไฟฟ้าและจำนวนความถี่ที่เหมาะสมในแต่ละวัน

เมื่อทราบเส้นทางและระยะทางที่ใช้เดินรถแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างแบบจำลองการเดินรถเพื่อหา ความถี่ที่เหมาะสมของการเดินรถในแต่ละวัน โดยพิจารณาจากเวลาการรอคอย (Waiting time) ถ้าหากเวลาการรอคอย รวมของระบบยังมีค่ามาก แสดงให้เห็นว่าการกำหนดความถี่ของจำนวนรถในช่วงเวลานั้น ๆ ไม่เหมาะสม การแสดงผลลัพธ์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ เวลาการรอคอยและจำนวนคนในแถวคอยเพื่อใช้บริการระบบรถไฟฟ้าสาธารณะ

3.1 เวลาการรอคอย

ตารางที่ 4-14 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในวันจันทร์ โดยทดลองจัดตารางการเดินรถให้มีความถี่เท่ากับ 3 5 และ 7 นาทีต่อ 1 คัน ผลลัพธ์ที่ใช้พิจารณาคือค่าเฉลี่ยและค่าเวลาการรอคอยสูงสุดของจุด P และผลรวมของทั้ง 11 จุด ซึ่งแต่ละจุดมีโอกาสที่ประชาชนจะลง ณ จุดนั้น ๆ ต่างกัน ในจุด P เป็นจุดที่ต้องเฝ้าระวังเนื่องจากเป็นจุดที่มีประชากรมารอคอยมากที่สุด ส่วนเหตุผลที่ต้องใช้เวลาเฉลี่ยรวมทั้ง 11 จุด มาพิจารณา เนื่องจากจุดจอดที่อยู่ใกล้กับต้นทางเวลาการรอคอยจะน้อยเนื่องจากรถเดินทางมาถึงเร็ว ต่างจากจุดจอดที่อยู่ห่างจากต้นทาง และจุด P เป็นจุดเริ่มต้นประชาชนจะหนาแน่นมากที่สุด ทำให้มีการรอกอยนาน ตารางที่ 4-15 คือเวลาการรอคอยเฉลี่ยและเวลาการรอคอยสูงสุดของระบบรถไฟฟ้าสาธารณะทั้ง 7 วัน

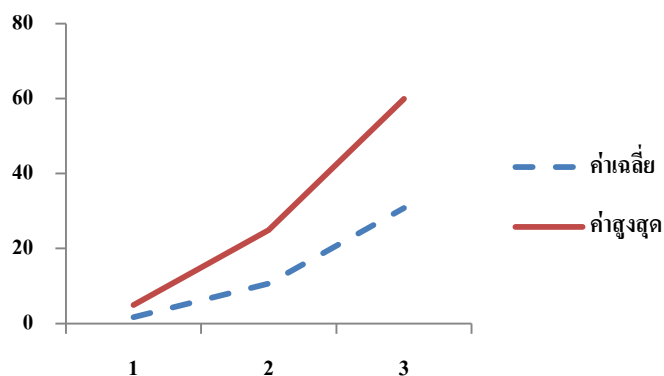
ตารางที่ 4-14 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในวันจันทร์

จุดจอด	โอกาสที่ผู้โดยสารจากจุด P จะลง (%)	เวลาการรอคอย (นาที)					
		3 นาทีต่อ 1 คัน		5 นาทีต่อ 1 คัน		7 นาทีต่อ 1 คัน	
		เฉลี่ย	สูงสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	เฉลี่ย	สูงสุด
จุดขึ้นรถ (0)	-	1.66	4.90	10.61	24.91	30.79	59.96
1	18	1.45	3.75	4.49	8.85	7.61	17.48
2	2	1.80	4.65	6.18	16.71	19.81	32.12
3	7	2.09	7.78	6.66	17.72	11.77	24.38
4	2	1.95	6.39	10.63	18.36	38.23	57.20
5	17	1.79	7.22	3.03	9.31	7.83	16.35
6	2	2.16	8.16	3.72	10.27	6.49	15.98
7	14	2.19	8.77	2.94	10.85	4.32	12.96
8	26	2.07	9.69	3.84	11.85	4.41	13.89
9	5	2.41	10.61	3.18	12.82	4.32	14.97
10	7	2.40	11.29	3.78	13.39	7.61	17.48
เวลารอคอยเฉลี่ย		2	7.56	5.37	14.09	13.02	25.71

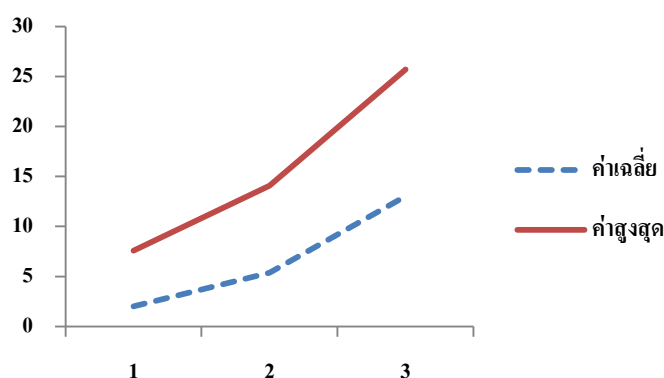
ตารางที่ 4-15 แสดงเวลารอคอยเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองสถานการณ์

วัน	เวลาการรอคอย	3 นาทีต่อ 1 คัน		5 นาทีต่อ 1 คัน		7 นาทีต่อ 1 คัน	
		เฉลี่ย	สูงสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	เฉลี่ย	สูงสุด
จันทร์	จุด P	1.66	4.90	10.61	24.91	30.79	59.96
	เฉลี่ย 11 จุด	2.00	7.56	5.37	14.09	13.02	25.71
อังคาร	จุด P	1.66	4.90	10.62	24.91	30.79	59.96
	เฉลี่ย 11 จุด	1.95	7.36	4.85	12.87	11.16	22.93
พุธ	จุด P	1.89	4.72	19.79	40.80	28.84	57.68
	เฉลี่ย 11 จุด	2	7.91	5.56	15.18	8.88	21.31
พฤหัสบดี	จุด P	1.61	4.20	14.55	28.31	29.07	55.02
	เฉลี่ย 11 จุด	1.95	7.39	4.31	11.98	9.41	21.47
ศุกร์	จุด P	1.48	3.10	3.11	7.64	15.61	33.51
	เฉลี่ย 11 จุด	1.99	7.44	3.45	11.12	9.17	20.52
เสาร์	จุด P	1.57	3.07	2.52	5.07	3.54	7.07
	เฉลี่ย 11 จุด	1.97	7.11	2.95	9.06	4.11	11.44
อาทิตย์	จุด P	1.57	3.07	2.53	5.07	3.54	7.07
	เฉลี่ย 11 จุด	1.97	7.11	2.96	9.06	4.11	11.44

ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ระบบรถไฟฟ้าสาธารณะในวันจันทร์ ความหนาแน่นของประชากรจะอยู่ระหว่าง 500-700 คน จากรูปที่ 4-12 ณ เวลาการรอคอยของจุด P ถ้าหากความถี่ในการเดินรถเท่ากับ 3 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 2 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 5 นาที แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 11 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 25 นาที ซึ่งอาจทำให้ประชากรไปถึงจุดหมายไม่ทันเวลา และถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อคันก็จะยิ่งส่งผลให้เวลาการรอคอยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 30 นาทีและเวลาการรอคอยสูงสุดจะเพิ่มขึ้นเป็น 60 นาทีซึ่งอาจทำให้ผู้ใช้บริการไปถึงจุดหมายไม่ทัน

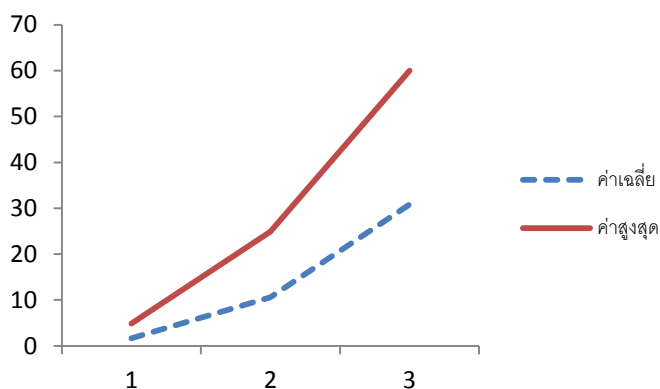


ภาพที่ 4-12 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอกอยวันจันทร์ ที่ จุด P

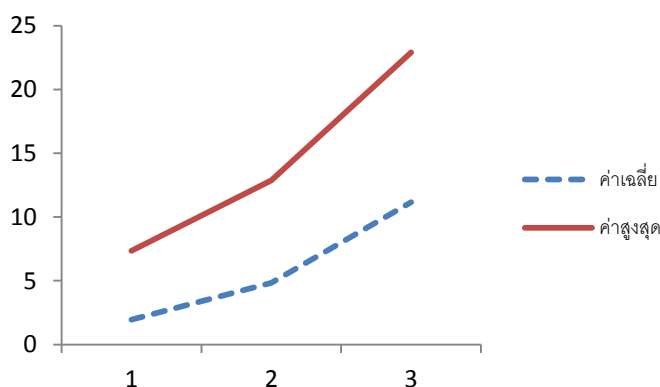


ภาพที่ 4-13 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอกอยวันจันทร์เฉลี่ย 11 จุด

แต่ถ้าหากพิจารณาเวลารอคอยเฉลี่ยรวมทั้ง 11 จุดจะพบว่า การจัดการทางรถที่ความถี่ 3 ต่อ 1 คัน ผู้ใช้บริการต้องใช้เวลารอคอยเฉลี่ย 2 นาที และเวลาการรอกอยสูงสุดถึง 8 นาที แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอกอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 6 นาที และเวลาการรอกอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 14 นาที และถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 7 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอกอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 13 นาที และเวลาการรอกอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 25 นาที ซึ่งจากผลลัพธ์สามารถพิจารณาว่าเวลาการรอกอยเฉลี่ยที่ความถี่ 3 และ 5 นาทีต่อ 1 คัน ยังไม่มีผลต่อการเดินทางมากนัก แต่ถ้าเป็น 7 นาทีต่อ 1 คัน จะอาจจะทำให้ผู้ใช้บริการไปถึงจุดหมายไม่ทันเวลา



ภาพที่ 4-14 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอคอยวันอังคาร ที่ จุด P

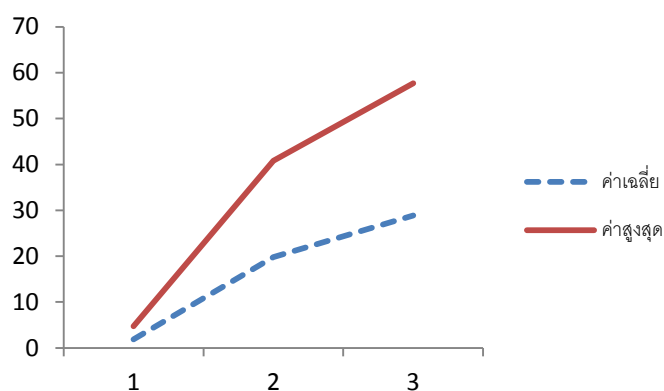


ภาพที่ 4-15 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอคอยวันวันอังคารเฉลี่ย 11 จุด

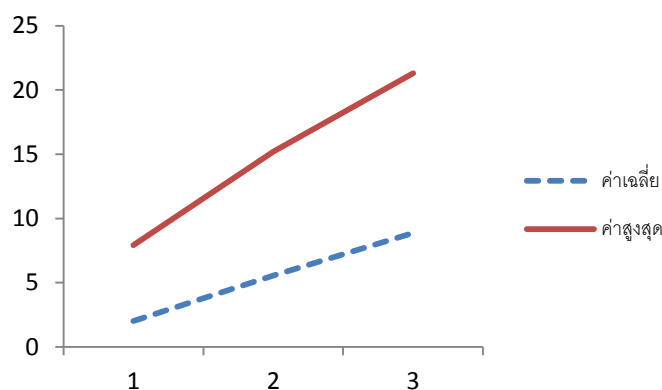
ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ระบบรถไฟฟ้าสาธารณะในวันอังคาร ความหนาแน่นของประชากรจะอยู่ระหว่าง 500-700 คน ซึ่งจำนวนใกล้เคียงกับวันจันทร์ แต่มีการเปลี่ยนแปลงโอกาสที่ประชากรจะลงในแต่ละจุด จากรูปที่ 4-14 ณ เวลาการรอคอยของจุด P ถ้าหากความถี่ในการเดินรถเท่ากับ 3 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 2 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 5 นาที แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 11 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 25 นาที ซึ่งอาจทำให้ประชากรไปถึงจุดหมายไม่ทันเวลา และถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อคันก็จะยังส่งผลให้เวลาการรอคอยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 30 นาทีและเวลาการรอคอยสูงสุดจะเพิ่มขึ้นเป็น 60 นาที ซึ่งถือว่าการเปลี่ยนแปลงจุดจอดไม่ส่งผลต่อเวลาการรอคอยมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับวันจันทร์

ส่วนเวลารอคอยเฉลี่ยรวมทั้ง 11 จุดจะพบว่า การจัดตารางการเดินรถที่ความถี่ 3 ต่อ 1 คัน ผู้ใช้บริการต้องใช้เวลารอคอยเฉลี่ย 2 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดถึง 7 นาที แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 6 นาที และเวลาการ

รอกอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 14 นาที และถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 7 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอกอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 11 นาที และเวลาการรอกอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 23 นาที ซึ่งใกล้เคียงกับวันจันทร์ จากผลลัพธ์สามารถทำให้ทราบได้ว่าเวลาการรอกอยเฉลี่ยที่ความถี่ 3 และ 5 นาทีต่อ 1 คัน ยังไม่มีผลต่อการเดินทางมากนัก แต่ถ้าเป็น 7 นาทีต่อ 1 คัน จะอาจจะทำให้ผู้ใช้บริการไปถึงจุดหมายไม่ทันเวลา เช่นเดียวกันวันจันทร์



ภาพที่ 4-16 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอกอยวันพุธ ที่ จุด P

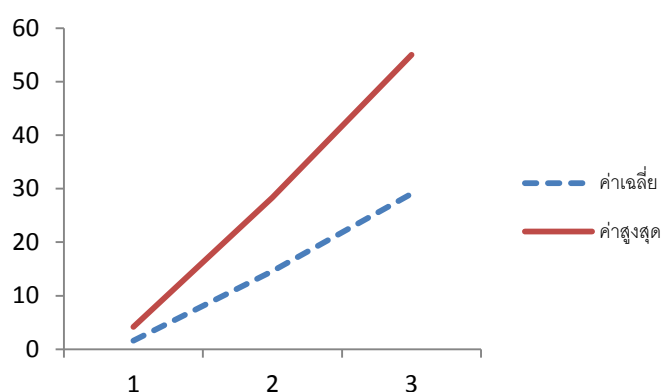


ภาพที่ 4-17 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอกอยวันวันพุธเฉลี่ย 11 จุด

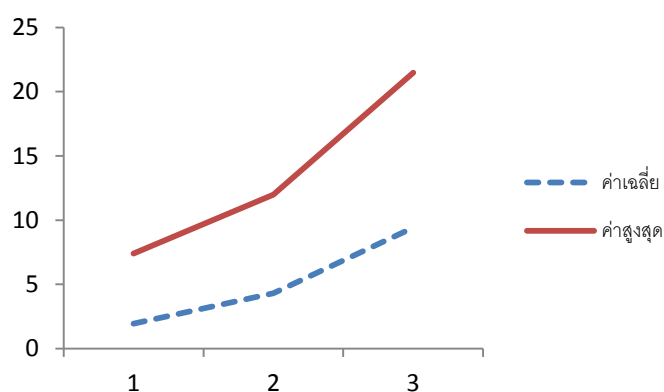
ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ระบบรถไฟฟ้าสาธารณะในวันพุธ ความหนาแน่นของประชากรจะอยู่ระหว่าง 500-750 คน จำนวนผู้ใช้บริการสูงสุดเพิ่มจากวันจันทร์และวันอังคาร จากรูปที่ 4-16 ณ เวลาการรอกอยของจุด P ถ้าหากความถี่ในการเดินรถเท่ากับ 3 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอกอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 2 นาที และเวลาการรอกอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 5 นาที แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอกอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 20 นาที และเวลาการรอกอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 41 นาที ดังนั้นถ้าหากมีผู้ใช้บริการในระบบมากขึ้นทำให้

การเปลี่ยนแปลงความถี่ระหว่าง 3 และ 5 นาทีต่อคันทำให้เวลาการรอคอยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเวลาดังกล่าวอาจทำให้ประชากรไปถึงจุดหมายไม่ทันเวลา และถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อคันก็จะยิ่งส่งผลให้เวลาการรอคอยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 29 นาทีและเวลาการรอคอยสูงสุดจะเพิ่มขึ้นเป็น 60 นาที แต่จะเห็นว่าระยะห่างปริมาณเวลาการรอคอยระหว่างความถี่ 5 และ 7 นาทีต่อคันจะไม่ห่างเท่าความถี่ระหว่าง ความถี่ 3 และ 5 นาทีต่อคัน

ส่วนเวลารอคอยเฉลี่ยรวมทั้ง 11 จุดจะพบว่า การจัดตารางการเดินรถที่ความถี่ 3 ต่อ 1 คัน ผู้ใช้บริการต้องใช้เวลารอคอยเฉลี่ย 2 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดถึง 8 นาที แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 6 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 15 นาที และถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 7 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 9 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 21 นาที ซึ่งใกล้เคียงกับวันจันทร์ จากผลลัพธ์สามารถทำให้ทราบได้ว่าเวลาการรอคอยเฉลี่ยที่ความถี่ 3 และ 5 นาทีต่อ 1 คัน ยังไม่มีผลต่อการเดินทางมากนัก แต่ถ้าเป็น 7 นาทีต่อ 1 คันจะอาจจะทำให้ผู้ใช้บริการไปถึงจุดหมายไม่ทันเวลา เช่นเดียวกันวันจันทร์และอังคาร



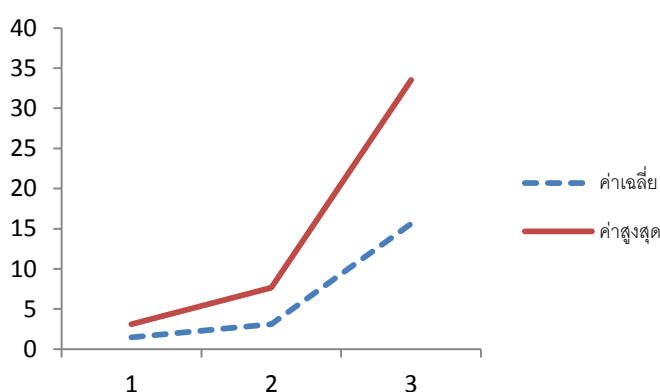
ภาพที่ 4-18 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอคอยวันพฤหัสบดี ที่ จุด P



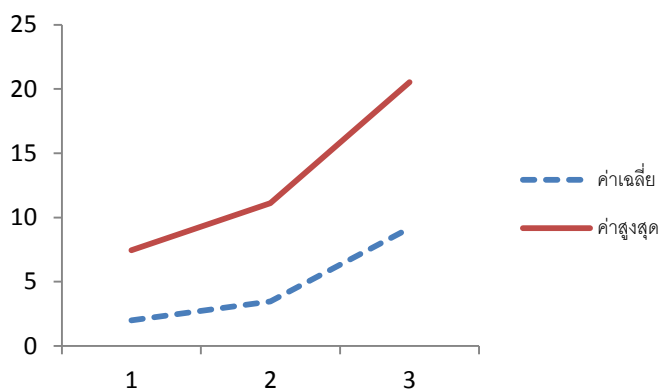
ภาพที่ 4-19 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอคอยวันวันพฤหัสบดีเฉลี่ย 11 จุด

ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ระบบรถไฟฟ้าสาธารณะในวันพฤหัสบดี ความหนาแน่นของประชากรจะอยู่ระหว่าง 500-700 คน โดยมีการเปลี่ยนแปลงโอกาสที่ประชากรจะลงในแต่ละจุดจอด จากรูปที่ 4-18 ณ เวลาการรอคอยของจุด P ถ้าหากความถี่ในการเดินรถเท่ากับ 3 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 2 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 4 นาที แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 15 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 28 นาที และหากเปลี่ยนเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อคันก็จะยิ่งส่งผลให้เวลาการรอคอยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 29 นาทีและเวลาการรอคอยสูงสุดจะเพิ่มขึ้นเป็น 55 นาที

ส่วนเวลารอคอยเฉลี่ยรวมทั้ง 11 จุดจะพบว่า การจัดการตารางเดินรถที่ความถี่ 3 ต่อ 1 คัน ผู้ใช้บริการต้องใช้เวลารอคอยเฉลี่ย 2 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดถึง 7 นาที แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 4 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 12 นาที และถ้าหากเปลี่ยนเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 7 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 9 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 21 นาที จากผลลัพธ์สามารถทำให้ทราบได้ว่าเวลาการรอคอยเฉลี่ยที่ความถี่ 3 และ 5 นาทีต่อ 1 คัน ยังไม่มีผลต่อการเดินทางมากนัก แต่ถ้าเป็น 7 นาทีต่อ 1 คันจะอาจจะทำให้ผู้ใช้บริการไปถึงจุดหมายไม่ทันเวลา เช่นเดียวกันวันจันทร์



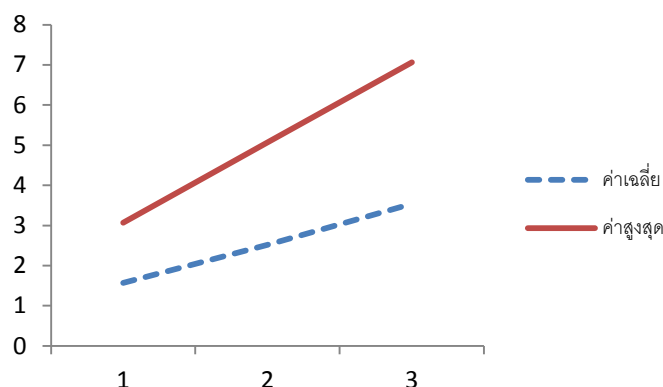
ภาพที่ 4-20 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอคอยวันศุกร์ ที่ จุด P



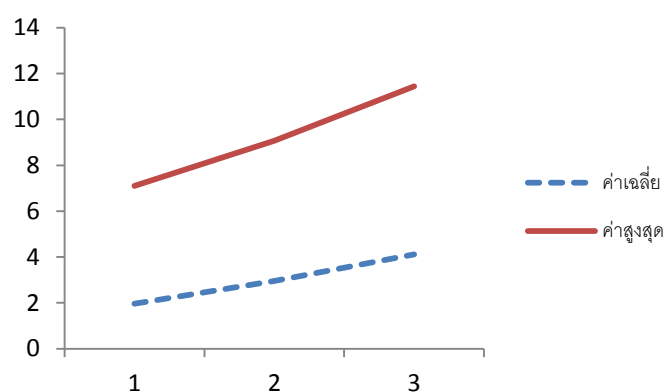
ภาพที่ 4-21 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอคอยวันวันศุกร์เฉลี่ย 11 จุด

ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ระบบรถไฟฟ้าสาธารณะในวันศุกร์ มีการลดความหนาแน่นของประชากรลง โดยมีความหนาแน่นของประชากรอยู่ระหว่าง 500-600 คน และเปลี่ยนแปลงโอกาสที่ประชากรจะลงในแต่ละจุดจอด จากรูปที่ 4-20 ณ เวลาการรอคอยของจุด P ถ้าหากความถี่ในการเดินรถเท่ากับ 3 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 1 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 3 นาที แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 3 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 8 นาที ซึ่งเวลาการรอคอยของความถี่ระหว่าง 3 นาทีต่อ 1 คันและ 5 นาทีต่อ 1 คัน จะมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งจากเวลาสามารถปรับเปลี่ยนความถี่เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน เพื่อเป็นการลดต้นทุนลงในวันศุกร์ แต่ถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อคันก็จะยังส่งผลให้เวลาการรอคอยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 16 นาทีและเวลาการรอคอยสูงสุดจะเพิ่มขึ้นเป็น 34 นาที ซึ่งก็จะส่งผลกระทบต่อเวลาการเดินทางของผู้ใช้บริการทันที

ส่วนเวลารอคอยเฉลี่ยรวมทั้ง 11 จุดจะพบว่า การจัดตารางการเดินรถที่ความถี่ 3 ต่อ 1 คัน ผู้ใช้บริการต้องใช้เวลารอคอยเฉลี่ย 2 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดถึง 7 นาที แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 3 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 11 นาที ซึ่งสอดคล้องกับเวลา ณ จุด P ทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คันได้ถ้าหากต้องการประหยัดต้นทุน แต่ความถี่ 7 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 9 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 21 นาที ซึ่งเวลาเฉลี่ยอาจจะไม่มากนัก แต่เวลาสูงสุดก็ทำให้ผู้ใช้บริการบางคนไปไม่ทันเวลา แต่เมื่อพิจารณา ร่วมกับการรอคอย ณ จุด P ก็อาจจะทำให้ไม่สามารถใช้ความถี่ที่ 7 นาทีต่อคัน เนื่องจากผู้ใช้บริการ ณ จุด P ต้องรอคอยนานและไปถึงจุดหมายไม่ทันเวลา



ภาพที่ 4-22 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอคอยวันเสาร์ ที่ จุด P

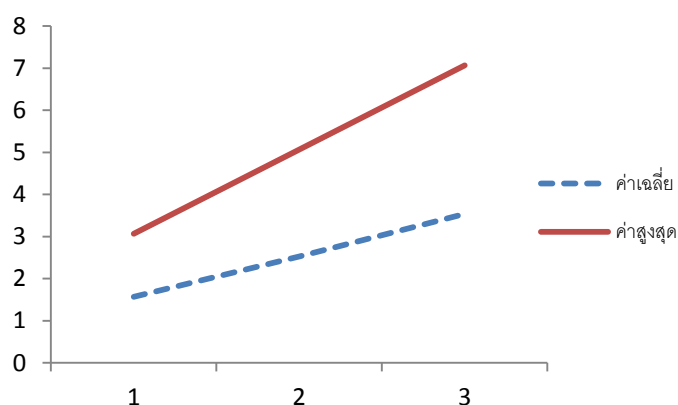


ภาพที่ 4-23 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอคอยวันวันเสาร์เฉลี่ย 11 จุด

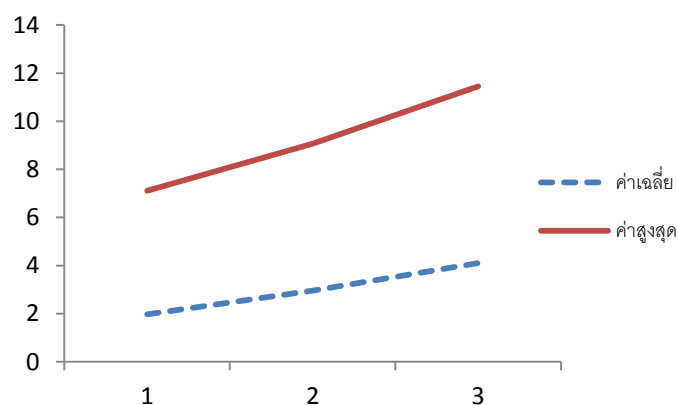
ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ระบบรถไฟฟ้าสาธารณะในวันเสาร์ มีการลดความหนาแน่นของประชากรลง โดยมีความหนาแน่นของประชากรอยู่ระหว่าง 350 คน และเปลี่ยนแปลงโอกาสที่ประชากรจะลงในแต่ละจุดจอด จากรูปที่ 4-22 ณ เวลาการรอคอยของจุด P ถ้าหากความถี่ในการเดินรถเท่ากับ 3 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 2 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 3 นาที แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 3 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 5 นาที และที่ความถี่ 7 นาทีต่อคันก็จะยิ่งส่งผลให้เวลาการรอคอยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 4 นาทีและเวลาการรอคอยสูงสุดจะเพิ่มขึ้นเป็น 7 นาที แสดงว่าจำนวนประชากรไม่หนาแน่นมากสามารถใช้ความถี่ที่น้อยที่สุดคือ 7 คันต่อนาทีก็สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อเวลาการเดินทางของผู้ใช้บริการ

ส่วนเวลารอคอยเฉลี่ยรวมทั้ง 11 จุดจะ จากรูปที่ 4-12 จะพบว่า การจัดตารางการเดินรถที่ความถี่ 3 ต่อ 1 คัน ผู้ใช้บริการต้องใช้เวลารอคอยเฉลี่ย 2 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดถึง 7 นาที

แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 3 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 9 นาที แต่ความถี่ 7 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 4 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 11 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถึงพิจารณาเวลาการรอคอยเฉลี่ยทั้ง 11 จุดก็ยังสามารถใช้ความถี่ที่น้อยที่สุดคือ 7 คันต่อนาทีก็ยังสามารถรองรับจำนวนผู้ให้บริการได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อเวลาการเดินทางของผู้ใช้บริการ เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย



ภาพที่ 4-24 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอคอยวันอาทิตย์ ที่ จุด P



ภาพที่ 4-25 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาการรอคอยวันวันอาทิตย์เฉลี่ย 11 จุด

ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ระบบรถไฟฟ้าสาธารณะในวันอาทิตย์ โดยมีความหนาแน่นของประชากรอยู่ระหว่าง 350 คนใกล้เคียงกับวันเสาร์ แต่มีการเปลี่ยนแปลงโอกาสที่ประชากรจะลงในแต่ละจุดจอด จากรูปที่ 4-24 ณ เวลาการรอคอยของจุด P ถ้าหากความถี่ในการเดินรถเท่ากับ 3 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 2 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 3 นาที แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอ

คอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 3 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 5 นาที และที่ความถี่ 7 นาทีต่อคันก็จะยิ่งส่งผลให้เวลาการรอคอยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 4 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะเพิ่มขึ้นเป็น 7 นาที ใกล้เคียงกับวันศุกร์ ซึ่งแสดงว่าจำนวนประชากรไม่หนาแน่นมากสามารถใช้ความถี่ที่น้อยที่สุดคือ 7 คันต่อนาทีก็สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อเวลาการเดินทางของผู้ใช้บริการส่วนเวลารอคอยเฉลี่ยรวมทั้ง 11 จุดจะ จากรูปที่ 4-14 จะพบว่า การจัดการตารางเดินรถที่ความถี่ 3 ต่อ 1 คัน ผู้ใช้บริการต้องใช้เวลารอคอยเฉลี่ย 2 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดถึง 7 นาที แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 3 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 9 นาที แต่ความถี่ 7 นาทีต่อ 1 คัน เวลาการรอคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 4 นาที และเวลาการรอคอยสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 11 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถึงพิจารณาเวลาการรอคอยเฉลี่ยทั้ง 11 จุดก็ยังสามารถใช้ความถี่ที่น้อยที่สุดคือ 7 คันต่อนาทีก็ยังสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อเวลาการเดินทางของผู้ใช้บริการ เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย

3.2 จำนวนความหนาแน่นของประชากรในแถวคอย

นอกจากเวลาการรอคอยแล้ว ผู้วิจัยยังได้ใช้ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยมาใช้ในการตัดสินใจ ตารางที่ 4-10 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยของวันจันทร์ ซึ่งผู้วิจัยจะใช้ค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดของประชากรในแถวคอยทั้ง 7 วันเพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจการกำหนดความถี่ในแต่ละวัน ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4-11

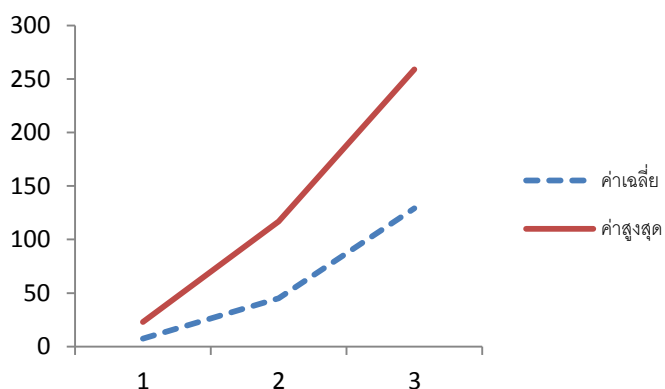
ตาราง 4-16 ตัวอย่างความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยของวันจันทร์

จุดจอด	โอกาสที่ผู้โดยสารจากจุด P จะลง (%)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)					
		3 นาทีต่อ 1 คัน		5 นาทีต่อ 1 คัน		7 นาทีต่อ 1 คัน	
		เฉลี่ย	สูงสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	เฉลี่ย	สูงสุด
จุดขึ้นรถ (0)	-	7.3349	23	45.1	117	129.09	259
1	18	0.312	3	1.54	7	1.7131	5
2	2	0.3451	2	1.577	5	3.76	8
3	7	0.3494	3	1.499	5	2.403	5
4	2	0.21	2	2.04	8	6.4077	11
5	17	0.41	3	0.621	3	1.9012	9
6	2	0.4317	5	0.682	5	1.2987	6
7	14	0.2372	2	0.5966	3	0.795	3
8	26	0.3996	4	0.5962	5	0.9922	6
9	5	0.44	3	0.6098	4	1.2253	5
10	7	0.55	6	0.78	4	1.7131	5
เวลารอคอยเฉลี่ย		1	5	5	15	14	29

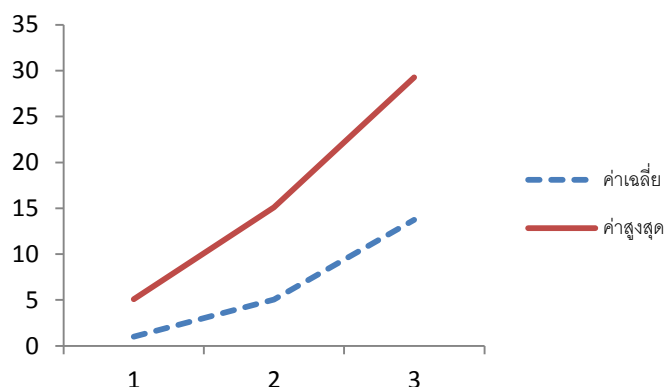
ตาราง 4-17 ค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดของประชากรในแถวคอยทั้ง 7 วัน

วัน	เวลาการรอคอย	3 นาทีต่อ 1 คัน		5 นาทีต่อ 1 คัน		7 นาทีต่อ 1 คัน	
		เฉลี่ย	สูงสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	เฉลี่ย	สูงสุด
จันทร์	จุด P	7	23	45	117	129	259
	เฉลี่ย 11 จุด	1	5	5	15	14	29
อังคาร	จุด P	7	23	45	117	129	259
	เฉลี่ย 11 จุด	1	5	5	15	13	29
พุธ	จุด P	9	26	102	220	131	284
	เฉลี่ย 11 จุด	1	5	1	24	13	30
พฤหัสบดี	จุด P	7	21	58	115	116	232
	เฉลี่ย 11 จุด	1	5	6	14	12	26
ศุกร์	จุด P	5	17	9	25	43	83
	เฉลี่ย 11 จุด	1	4	2	6	6	13
เสาร์	จุด P	1	9	2	9	3	12
	เฉลี่ย 11 จุด	1	3	1	4	1	5
อาทิตย์	จุด P	1	9	2	9	3	12
	เฉลี่ย 11 จุด	1	3	1	4	1	5

ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ระบบรถไฟฟ้าสาธารณะในวันจันทร์ ความหนาแน่นของประชากรจะอยู่ระหว่าง 500-700 คน จากรูปที่ 4-26 ณ ความหนาแน่นของประชากรในจุด P ถ้าหากความถี่ในการเดินรถเท่ากับ 3 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยจะมีจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 7 คน และความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 23 คน แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 45 นาที ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 117 คน และถ้าหากเปลี่ยนเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อคัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 129 นาทีและความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 259 คน

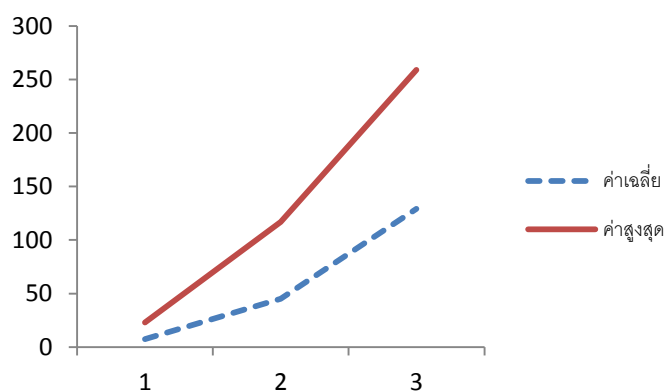


ภาพที่ 4-26 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นของประชากรวันจันทร์ที่ จุด P

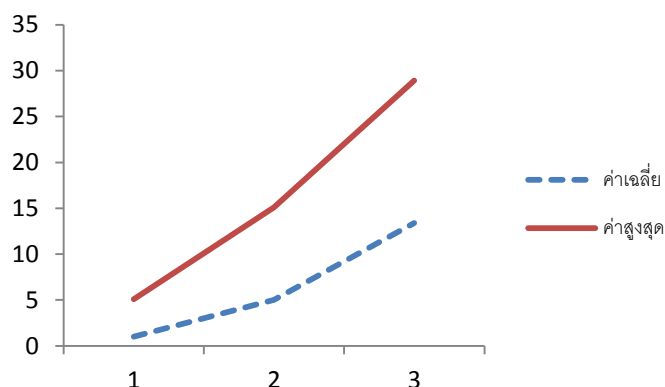


ภาพที่ 4-27 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นของประชากรวันจันทร์เฉลี่ย 11 จุด

ส่วนความหนาแน่นของประชากรของทั้ง 11 จุด จากรูปที่ 4-16 จะพบว่า การจัดตารางการเดินทางที่ความถี่ 3 ต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 1 คน และความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 5 คน แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 5 คน และความหนาแน่นของประชากรสูงสุดจะอยู่ที่ 15 คน แต่ถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 14 คน และความหนาแน่นของประชากรสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 29 คน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าควรกำหนดความถี่ที่ 3 นาทีต่อคันเนื่องจากความหนาแน่นของประชากร ณ จุด P จะสูง แต่ถ้าหากพิจารณาเฉลี่ยทั้ง 11 จุดพบว่าจำนวนประชากรไม่หนาแน่นเฉพาะบางจุด P เท่านั้น



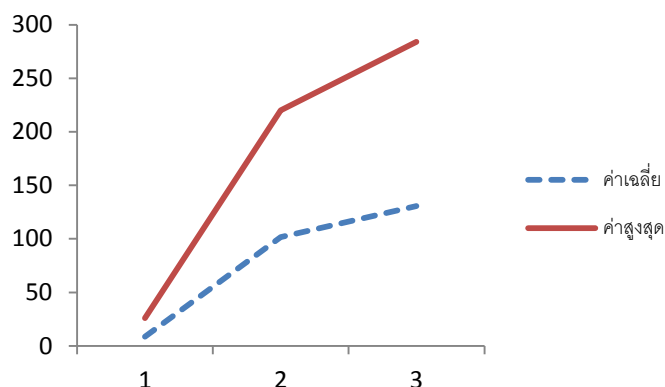
ภาพที่ 4-28 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นของประชากรวันอังคารที่ จุด P



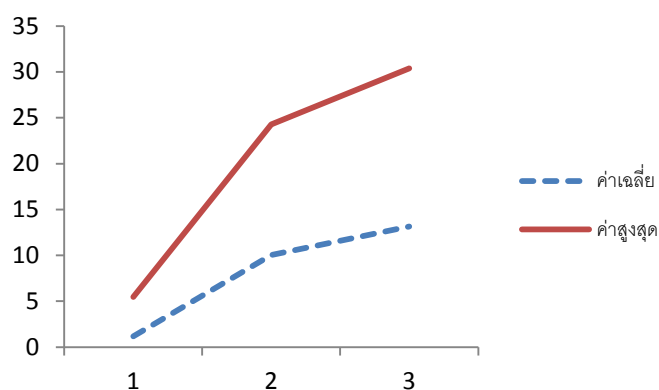
ภาพที่ 4-29 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นของประชากรวันอังคารเฉลี่ย 11 จุด

ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ระบบรถไฟฟ้าสาธารณะในวันอังคาร ความหนาแน่นของประชากรจะอยู่ระหว่าง 500-700 คน เช่นเดียวกับวันจันทร์ แต่มีการเปลี่ยนแปลงโอกาสที่ประชากรจะลงในแต่ละจุดจอด จากรูปที่ 4-28 ณ ความหนาแน่นของประชากรในจุด P ถ้าหากความถี่ในการเดินรถเท่ากับ 3 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยจะมีจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 7 คน และความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 23 คน แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 45 นาที ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 117 คน และถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อคัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 129 คนและความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 259 คน

ส่วนความหนาแน่นของประชากรของทั้ง 11 จุดจากรูปที่ 4-18 จะพบว่า การจัดตารางการเดินรถที่ความถี่ 3 ต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 1 คน และความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 5 คน แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 5 คน และความหนาแน่นของประชากรสูงสุดจะอยู่ที่ 15 คน แต่ถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 14 คน และความหนาแน่นของประชากรสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 29 คน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าควรกำหนดความถี่ที่ 3 นาทีต่อคันเนื่องจากความหนาแน่นของประชากร ณ จุด P จะสูง แต่ถ้าหากพิจารณาเฉลี่ยทั้ง 11 จุดพบว่าจำนวนประชากรไม่หนาแน่นเฉพาะบางจุด P เท่านั้น เช่นเดียวกับวันจันทร์



ภาพที่ 4-30 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นของประชากรวันพุธที่ จุด P

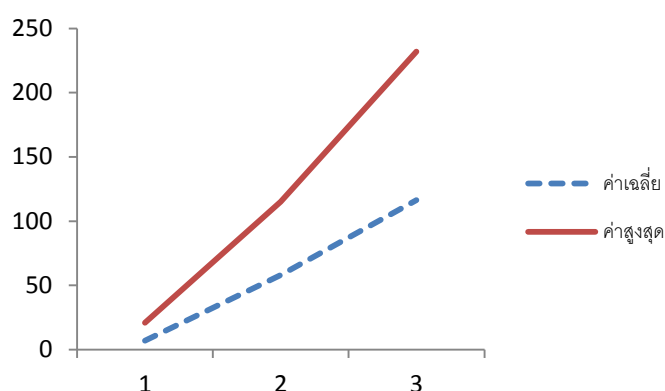


ภาพที่ 4-31 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นของประชากรวันพุธเฉลี่ย 11 จุด

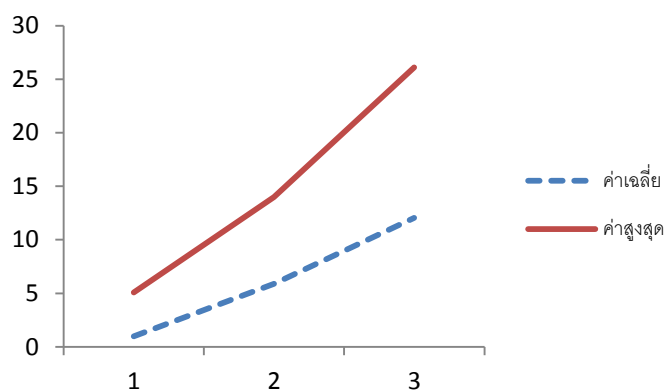
ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ระบบรถไฟฟ้าสาธารณะในวันพุธ ความหนาแน่นของประชากรจะอยู่ระหว่าง 500-750 คน ตลอดจนมีการเปลี่ยนแปลงโอกาสที่ประชากรจะลงในแต่ละจุดจอด จากรูปที่ 4-19 ความหนาแน่นของประชากรในจุด P ถ้าหากความถี่ในการเดินทางเท่ากับ 3 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยจะมีจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 9 คน และความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 26 คน แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 102 คน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 220 คน และถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 131 คนและความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 284 คน

ส่วนความหนาแน่นของประชากรของทั้ง 11 จุดจากรูปที่ 4-30 จะพบว่า การจัดตารางการเดินทางที่ความถี่ 3 ต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 1 คน และความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 5 คน แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1

คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 10 คน และความหนาแน่นของประชากรสูงสุดจะอยู่ที่ 24 คน แต่ถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 13 คน และความหนาแน่นของประชากรสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 30 คน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าหากจำนวนความหนาแน่นของผู้ใช้บริการระบบรถไฟฟ้าสาธารณะเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าจำนวนความหนาแน่นในแถวคอย ณ จุด P จะเพิ่มมากขึ้นเกือบเท่าตัว ดังนั้นในวันพุธความถี่ที่เหมาะสมควรกำหนดกำหนดไว้ที่ 3 นาทีต่อ 1 คัน



ภาพที่ 4-32 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นของประชากรวันพฤหัสบดีที่จุด P

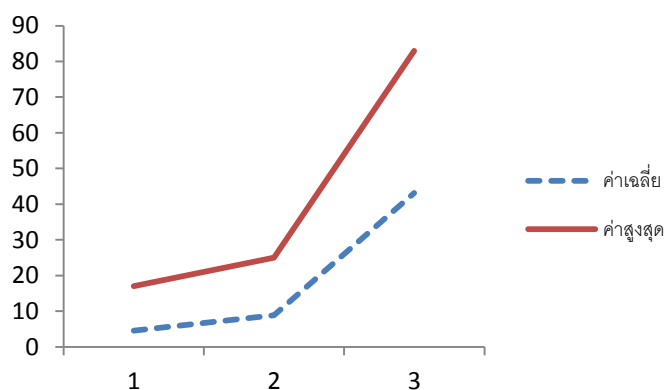


ภาพที่ 4-33 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นของประชากรวันพฤหัสบดีเฉลี่ย 11 จุด

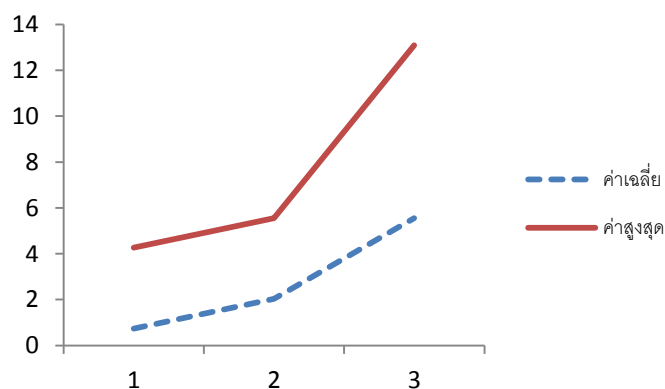
ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ระบบรถไฟฟ้าสาธารณะในวันพฤหัสบดี ความหนาแน่นของประชากรจะอยู่ระหว่าง 500-700 คน ตลอดจนมีการเปลี่ยนแปลงโอกาสที่ประชากรจะลงในแต่ละจุดจอด จากรูปที่ 4-32 ณ เวลาการรอคอยในจุด P ถ้าหากความถี่ในการเดินรถเท่ากับ 3 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยจะมีจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 7 คน และความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 21 คน แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5

นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 58 คน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 115 คน และถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อคัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 116 คนและความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 232 คน

ส่วนความหนาแน่นของประชากรของทั้ง 11 จุดจากรูปที่ 4-22 จะพบว่า การจัดตารางการเดินรถที่ความถี่ 3 ต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 1 คน และความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 5 คน แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 6 คน และความหนาแน่นของประชากรสูงสุดจะอยู่ที่ 14 คน ซึ่งถือว่าไม่หนาแน่นมากนัก แต่ถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 12 คน และความหนาแน่นของประชากรสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 26 คน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าความหนาแน่นของประชากร ณ จุด P ยังมีความหนาแน่นอยู่มาก ดังนั้นควรจัดตารางเดินให้มีความถี่เท่ากับ 3 นาทีต่อ 1 คัน



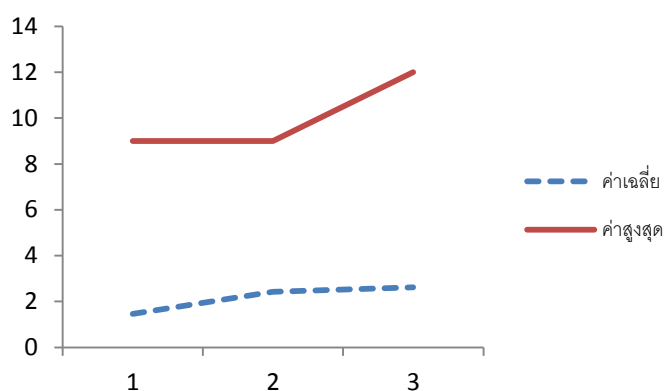
ภาพที่ 4-34 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นของประชากรวันศุกร์ที่ จุด P



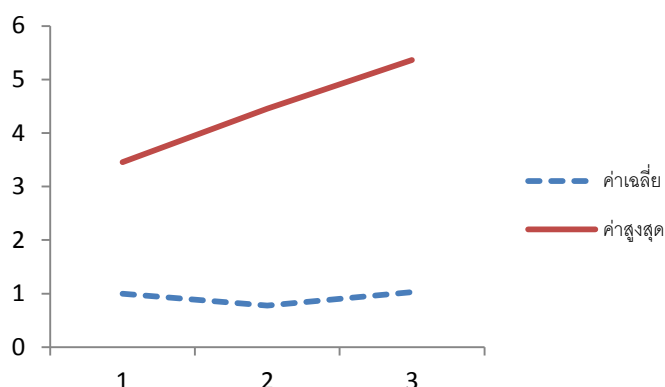
ภาพที่ 4-35 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นของประชากรวันศุกร์เฉลี่ย 11 จุด

ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ระบบรถไฟฟ้าสาธารณะในวันศุกร์โดยมีการลดจำนวนความหนาแน่นของประชากรลงซึ่งจะอยู่ระหว่าง 500-600 คน ตลอดจนมีการเปลี่ยนแปลงโอกาสที่ประชากรจะลงในแต่ละจุดจอด จากรูปที่ 4-35 ณ เวลาการรอกอยในจุด P ถ้าหากความถี่ในการเดินรถเท่ากับ 3 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยจะมีจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 5 คน และความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 17 คน แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 9 คน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 25 คน และถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อคัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 43 คนและความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 83 คน ซึ่งเห็นว่าความหนาแน่นในแถวคอยลดลงจากวัน จันทร์ – พฤหัสบดี ซึ่งถ้าหากจะลดความถี่ของตารางการเดินรถมาอยู่ที่ 5 คัน หรือ 7 คันต่อ นาทีเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการให้บริการก็สามารถทำได้

ส่วนความหนาแน่นของประชากรของทั้ง 11 จุดจากรูปที่ 4-24 จะพบว่า การจัดตารางการเดินรถที่ความถี่ 3 ต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 1 คน และความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 4 คน แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 2 คน และความหนาแน่นของประชากรสูงสุดจะอยู่ที่ 6 คน ซึ่งถือว่าไม่หนาแน่นมากนัก แต่ถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 6 คน และความหนาแน่นของประชากรสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 13 คน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าความหนาแน่นของประชากร ณ จุด 11 จุดเฉลี่ยแล้วมีความหนาแน่นอยู่ไม่มากนัก ดังนั้นจึงสามารถจัดตารางเดินให้มีความถี่เท่ากับ 7 นาทีต่อ 1 คัน ถ้าหากต้องการลดค่าใช้จ่าย



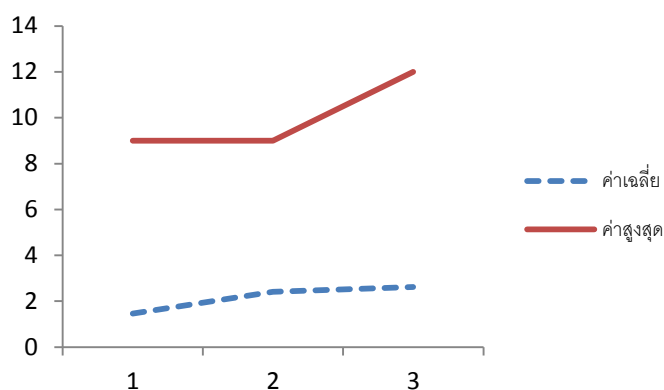
ภาพที่ 4-36 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นของประชากรวันเสาร์ที่ จุด P



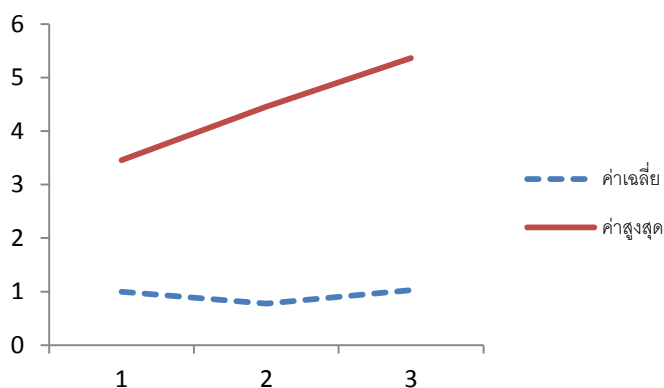
ภาพที่ 4-37 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นของประชากรวันเสาร์เฉลี่ย 11 จุด

ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ระบบรถไฟฟ้าสาธารณะในวันเสาร์ ซึ่งวันเสาร์และอาทิตย์นักศึกษาที่เรียนภาคปกติจะหยุดเรียน ทำให้ความหนาแน่นของประชากรจะลดลง ซึ่งจะอยู่ระหว่าง 300-350 คน ตลอดจนมีการเปลี่ยนแปลงโอกาสที่ประชากรจะลงในแต่ละจุดจอด จากรูปที่ 4-25 ณ เวลาการรอคอยในจุด P ถ้าหากความถี่ในการเดินรถเท่ากับ 3 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยจะมีจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 1 คน และความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 9 คน แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 2 คน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 9 คน และถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อคัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 3 คนและความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 12 คน ซึ่งถ้าหากจะลดความถี่ของตารางการเดินรถมาอยู่ที่ 7 คันต่อนาทีก็ไม่ส่งผลกระทบต่อความถี่พอใจของประชากรอื่นเนื่องจากความล่าช้า เพราะฉะนั้นจึงสามารถกำหนดให้เป็นความถี่ดังกล่าวได้ถ้าหากต้องการลดค่าใช้จ่าย

ส่วนความหนาแน่นของประชากรของทั้ง 11 จุดจากรูปที่ 4-36 จะพบว่า การจัดตารางการเดินรถที่ความถี่ 3 ต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 1 คน และความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 3 คน แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 2 คน และความหนาแน่นของประชากรสูงสุดจะอยู่ที่ 4 คน ซึ่งถือว่าไม่หนาแน่นมากนัก แต่ถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 1 คน และความหนาแน่นของประชากรสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 5 คน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถึงจะกำหนดความถี่ให้เป็น 7 นาทีต่อ 1 คันก็สามารถให้บริการได้อย่างรวดเร็วโดยไม่เกิดความล่าช้า



ภาพที่ 4-38 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นของประชากรวันอาทิตย์ที่ จุด P



ภาพที่ 4-39 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนความหนาแน่นของประชากรวันอาทิตย์เฉลี่ย 11 จุด

ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ระบบรถไฟฟ้าสาธารณะในวันอาทิตย์ เช่นเดียวกันกับวันเสาร์นักศึกษาที่เรียนภาคปกติจะหยุดเรียน ทำให้ความหนาแน่นของประชากรจะลดลง ซึ่งจะอยู่ระหว่าง 300-350 คน ตลอดจนมีการเปลี่ยนแปลงโอกาสที่ประชากรจะลงในแต่ละจุดจอด จากรูปที่ 4-38 ความหนาแน่นของประชากรในจุด P ถ้าหากความถี่ในการเดินรถเท่ากับ 3 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยจะมีจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 1 คน และความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 9 คน แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 2 คน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 9 คน และถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อคัน ความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 3 คนและความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 12 คน ซึ่งถ้าหากจะลดความถี่ของตารางการเดินรถมาอยู่ที่ 7 คันต่อวันก็ไม่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของประชากรอันเนื่องมาจากความล่าช้า เพราะฉะนั้นจึงสามารถกำหนดให้เป็นความถี่ดังกล่าวได้ถ้าหากต้องการลดค่าใช้จ่าย

ส่วนความหนาแน่นของประชากรของทั้ง 11 จุดจากรูปที่ 4-28 จะพบว่า การจัดตารางการเดินรถที่ความถี่ 3 ต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 1 คน และความหนาแน่นของประชากรในแถวคอยสูงสุดจะอยู่ที่ 3 คน แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เป็น 5 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 2 คน และความหนาแน่นของประชากรสูงสุดจะอยู่ที่ 4 คน ซึ่งถือว่าไม่หนาแน่นมากนัก แต่ถ้าหากเปลี่ยนแปลงความถี่เป็น 7 นาทีต่อ 1 คัน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยจะอยู่ที่ 1 คน และความหนาแน่นของประชากรสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 5 คน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถึงจะกำหนดความถี่ให้เป็น 7 นาทีต่อ 1 คันก็สามารถให้บริการได้อย่างรวดเร็วโดยไม่เกิดความล่าช้า

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

1 สรุปผลและอภิปรายผล

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองสถานการณ์ในการนำรถที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามาใช้ในการมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ โดยหวังว่าการศึกษานี้จะเป็นแนวทางในการนำระบบรถไฟฟ้าสาธารณะมาใช้ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพื่อเป็นการลดการเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนน ส่งเสริมให้ใช้รถขนส่งสาธารณะเพื่อลดการใช้พลังงานและมลพิษทางอากาศ งานวิจัยชิ้นนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนประกอบหลัก คือ ส่วนแรกศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้ระบบขนส่งสาธารณะ ส่วนที่สองเป็นการประยุกต์ใช้ วิธีการเมตาฮิวริสติก อัลกอริทึม (Metaheuristic Algorithms) เพื่อหาเส้นทางและจุดจอดของรถไฟฟ้าที่เหมาะสม และส่วนที่ 3 คือสร้างแบบจำลอง (Model) เพื่อใช้หาจำนวนรถไฟฟ้า จำนวนความถี่ในแต่ละวัน ซึ่งการสร้างแบบจำลองจะสามารถศึกษาและอธิบายสถานการณ์ที่เหมือนจริงโดยที่ไม่จำเป็นต้องสร้างเหตุการณ์จริงขึ้นมา ซึ่งผลลัพธ์ในแต่ละส่วนประกอบสามารถอธิบายผลสรุปได้ดังนี้

ส่วนแรกเป็นการสำรวจจากประชากรตัวอย่างจำนวน 327 คนที่มีความจำเป็นต้องเดินทางมายังมหาวิทยาลัย จากการสำรวจพบว่าการนำระบบรถไฟฟ้ามาใช้อาจจะไม่ได้รับการตอบรับมากนัก เนื่องจากนักศึกษาและบุคลากรส่วนใหญ่ยังไม่แน่ใจว่าจะได้รับประโยชน์จากการนำระบบดังกล่าว หรือถ้าหากนำระบบรถขนส่งสาธารณะมาใช้ ประชากรส่วนใหญ่ก็ยังไม่คิดจะเปลี่ยนแปลงวิธีการเดินทาง เนื่องจากการใช้ยานพาหนะส่วนบุคคล เนื่องจากวิธีการเดินทางแบบเก่ายังมีความสะดวกกว่าและการจราจรในมหาวิทยาลัยก็ไม่คับคั่งมากนักทำให้การรอคอยรถไฟฟ้าอาจทำให้เสียเวลามากกว่าการเดินทางโดยใช้ยานพาหนะส่วนบุคคล ส่วนคนที่คิดว่าจะได้รับประโยชน์จากระบบการขนส่งสาธารณะภายในมหาวิทยาลัยจะเป็นประชากรที่จำเป็นจริง ๆ ที่จะต้องใช้เพื่อเดินทางต่อจากระบบขนส่งสาธารณะแบบอื่น

ส่วนที่ 2 กำหนดเส้นทางและลำดับของจุดจอดที่เหมาะสม การกำหนดเส้นทางจะใช้เส้นทางจากเว็บไซต์ Google map (<https://maps.google.co.th>) โดยเลือกเอาเส้นทางที่สั้นที่สุดของแต่ละจุดมาใช้ในการตัดสินใจออกแบบเส้นทางในการเดินทางว่าถ้าหากจะไปยังจุดที่กำหนดไว้ ให้ครบทุกจุดจะต้องใช้เส้นทางไหนถึงจะได้ระยะทางที่สั้นที่สุด ดังนั้นจึงประยุกต์ใช้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายในการแก้ปัญหาดังกล่าว ปัญหาถูกแบ่งออกเป็น 3 ขนาดได้แก่ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และ ขนาดใหญ่โดยแต่ละขนาดจะมีจุดจอดของรถไฟฟ้า 10 15 และ 30 จุด จากนั้นแก้ปัญหาโดยใช้

วิธีการเมตาสวิสติก ในที่นี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ เมตาสวิสติก 3 วิธีประกอบด้วย วิธีค้นหาเฉพาะที่ (Local Search : LS) วิธีค้นหาเฉพาะที่แบบวนซ้ำ (Iterated Local Search : ILS) และวิธีการอนานิคมมด (Ant Colony Optimization : ACO) โดยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากเมตริกซ์ระยะทาง เพื่อคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุดเพื่อนำใช้ในการจัดลำดับจุดจอด จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบ ACO มีประสิทธิภาพดีที่สุด ใน 3 วิธี รองลงมาคือ ILS : ถึงในปัญหาขนาดใหญ่ LS สามารถจัดเส้นทางการเดินทางได้ระยะสั้นกว่า ILS อาจเป็นเพราะพื้นที่การหาคำตอบของปัญหามีขนาดใหญ่ทำให้ LS ที่ใช้วิธีการแบบเน้นหาคำตอบในย่านพื้นที่การหาคำตอบใกล้เคียงเดิม สามารถพบคำตอบดีกว่า ILS ที่ใช้วิธีการกระจายการหาคำตอบในย่านพื้นที่คำตอบอื่นเมื่อคำตอบไม่มีดีขึ้นครบจำนวนครั้งที่กำหนด ทำให้ ILS อาจจะค้นหาคำตอบได้ไม่ทั่วบริเวณ ทำให้พลาดโอกาสที่จะเจอคำตอบที่ดีกว่าในพื้นที่นั้นๆ แต่ถ้าหากมองภาพรวมทั้งในปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลางและค่าเฉลี่ยจากกระบวนการค้นหาคำตอบซ้ำ 30 ครั้งในปัญหาขนาดใหญ่ ILS สามารถทำได้ดีกว่า LS แต่ในการสร้างตัวแบบในงานวิจัยชิ้นนี้จะใช้เพียงผลลัพธ์จากการแก้ปัญหาขนาดเล็กเท่านั้น โดยเริ่มจากจุดเริ่มต้น (จุด P) จากนั้นไปยังจุดจอดที่ 1 2 3 4 7 5 6 10 8 9 ตามลำดับ จากนั้นกลับไปจุดเริ่มต้น รวมระยะทางทั้งสิ้น 3,130 เมตร หรือ 3.130 กิโลเมตร แต่ในปัญหาขนาดกลางและขนาดใหญ่นำมาใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการหาผลลัพธ์ในปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเท่านั้น

ในส่วนที่ 3 เป็นการสร้างแบบจำลองระบบการเดินรถไฟฟ้าสาธารณะในมหาวิทยาลัยโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อทดลองและสังเกตพฤติกรรมของระบบเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างระบบขนส่งในมหาวิทยาลัยในอนาคต ซึ่งลักษณะปัญหาประชากรจะเริ่มขึ้นรถ ณ จุดจอดบริเวณหน้ามหาวิทยาลัย โดยช่วงเวลาที่พิจารณาคือ 7.00-10.00 ซึ่งเป็นช่วงที่ประชากรมีความหนาแน่นที่สุด ประชากรมีเป้าหมายในการเดินทางที่ต่างกัน เนื่องจากไม่มีข้อมูลจริง ดังนั้นข้อมูลที่นำมาใช้ในการกำหนดคือ ตารางการใช้ห้องเรียนของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2558 ตั้งแต่วันจันทร์ – วันอาทิตย์ โดยการทดลองแบ่งการจัดตารางการเดินรถให้มีความถี่เท่ากับ 3 5 และ 7 นาทีต่อ 1 คัน ผลลัพธ์ที่ใช้พิจารณา มีทั้งหมด 2 องค์ประกอบ องค์ประกอบแรกคือค่าเฉลี่ยและค่าเวลาการรอคอยสูงสุดและค่าเฉลี่ยของจุด P และจากทั้ง 11 จุด ซึ่งแต่ละจุดมีโอกาสที่ประชากรจะลง ณ จุดนั้น ๆ ต่างกัน และองค์ประกอบที่สองคือจำนวนผู้ใช้บริการที่รอคอยมากที่สุดและค่าเฉลี่ยที่จุด P และจากทั้ง 11 จุด จากการทดลองพบว่า จำนวนประชากรที่หนาแน่นมีผลต่อเวลาการรอคอยและจำนวนผู้มาใช้บริการในแถวคอยมากกว่าโอกาสในการเลือกลง ณ จุดจอดที่ต่างกันในแต่ละจุดจอด ซึ่งในความหนาแน่นของประชากรที่ใกล้เคียงกัน แต่ร้อยละในการลงจอดที่ต่างกันไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเวลาการรอคอยและจำนวน

ผู้ให้บริการในแถวคอยมากมักทำให้ไม่สามารถที่จะยืดหยุ่นเพื่อลดความถี่ของจำนวนรถไฟฟ้าลงได้ ซึ่ง ในวันจันทร์ – พฤหัสบดีผู้ให้บริการประมาณ 500-750 คน ต้องกำหนดความถี่เท่ากับ 3 นาทีต่อ 1 คันเท่านั้น มิเช่นนั้นจะทำให้ผู้ให้บริการไปถึงเป้าหมายไม่ทันเวลาที่กำหนด แต่ในวันที่ประชากรไม่หนาแน่นมาก เช่น วัน ศุกร์ เสาร์ และ อาทิตย์ ที่ประชากรผู้ให้บริการอยู่ระหว่าง 300-600 คนก็สามารถลดความถี่ลงมาที่ 5 และ 7 คันต่อนาทีเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนของระบบการขนส่งสาธารณะลงได้ ซึ่งการสร้างแบบจำลองในงานวิจัยชิ้นนี้ทำให้สามารถวางแผนการจัดตารางความถี่ของการจัดการรถโดยสาร เพื่อให้สามารถบริการจัดการระบบขนส่งสาธารณะให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

2 ข้อเสนอแนะ

จุดอ่อนของงานวิจัยชิ้นนี้คือไม่มีระบบรถไฟฟ้าอยู่จริงในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบแบบจำลองกับระบบจริงได้ รวมไปถึงไม่สามารถเก็บข้อมูลจริงได้เนื่องจากไม่ทราบพฤติกรรมของประชากรทำให้ทำได้แค่เพียงจำลองข้อมูลจากพฤติกรรมการตารางการใช้ห้องเรียนเท่านั้น ซึ่งได้นำไปใช้จุด P แต่ในจุดอื่นๆ เป็นเพียงการสุ่มโดยขาดข้อมูลจากสถานที่จริง ดังนั้นแบบจำลองที่ได้จึงยังขาดความสมจริงอยู่มาก รวมถึงยังมีอีกหลายก็กรณีนที่น่าสนใจและยังไม่ได้ถูกพิจารณา เช่น การเปลี่ยนแปลงความเร็วรถไฟฟ้า จำนวนคนที่รอคอยมาพิจารณาความถี่ช่วงเวลาให้สอดคล้องกับสถานที่ เช่น เวลาเที่ยงวันกับจำนวนประชากรที่จะจุดจอดที่อยู่ใกล้กับโรงอาหาร ส่วนในเรื่องของการหาเส้นทางควรทดลองกับเมตาฮิวริสติกส์รูปแบบอื่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบให้ดียิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

รุ่งรัตน์ ภัสสพเพญ (2550). คู่มือการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Arena สถานที่พิมพ์: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

ระพีพันธุ์ ปิตาศะโส (2554). ชื่อเรื่อง.วิธีการเมตาฮีริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์" สถานที่พิมพ์: ศ.ส.ท.

ศศิวรรณ รัตนอบุล และ ชานินทร์ ศรีสุวรรณนภา (2556). การจำลองสถานการณ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการ ของคลินิกมารเวชและอายุรกรรม ตึกผู้ป่วยนอกโรงพยาบาลพัทลุงวารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม-มิถุนายน หน้าที่ 107-116

ธนา ศาตรา กมลนัฏ ขวลิทธิดิกร ณัฐวดีชนประเสริฐ วิธดา วิรินทร การประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมมดกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถโดยมีข้อจำกัดด้านกรอบเวลาและพิจารณาระดับการบริการ การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม.(2555) 15-22

การค้นคว้าแบบอิสระศิลปศาสตร การให้บริการด้านขนส่งมวลชนสาธารณะของเทศบาลนครเชียงใหม่. สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์การเมือง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.(2549).

วิทยานิพนธ์ การแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่องโดยวิธีเมตาฮีริสติกส์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร (2556)

วิทยานิพนธ์ การจัดเซลล์การผลิตในระบบการผลิตแบบเซลล์ลูลาร์ โดยใช้วิธีแอนท์โคโลนีออฟติไมเซชัน ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร (2556)

วิทยานิพนธ์ การศึกษาระบบขนส่งสาธารณะในเมืองนครสวรรค์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2556)

ปริญญานิพนธ์ การพัฒนาโปรแกรมจำลองสถานการณ์เพื่อช่วยวางแผนการผลิตในโรงงานชิ้นส่วนรถยนต์ขนาดเล็ก ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร (2550)

ปริญญานิพนธ์ การศึกษาการเชื่อมต่อระบบขนส่งสาธารณะของจังหวัด พิษณุโลกกรณีศึกษา การเชื่อมต่อระหว่างสถานีขนส่ง ผู้โดยสารและสถานีรถไฟ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2550)

คณะวิศวกรรมศาสตร์. เอกสารคำสอนหัวข้อทางด้านการจัดการการดำเนินงาน. [online]. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.แหล่งที่เข้าถึง : <http://www.ubu.ac.th/~pitakaso/1302476/index.htm>. [11 มีนาคม 2558]

บรรณานุกรม (ต่อ)

David L. Applegate. The Traveling Salesman Problem: A Computational Study. Front Cover. Princeton University Press, 2006 –

Bodin, L. D., B. L. Golden, A. A. Assad, and M. O. Ball (1983), Computers and Operations Research, Special Issue on the Routing and Scheduling of Vehicles and Crews, Vol. 10, No. 2, pp. 63-211

Pongcharoen et al., 2008 W. Pongcharoen, V. Rukachaisirikul, S. Phongpaichit, T. Kühn, M. Pelzing, J. Sakayaroj, et al. Metabolites from the endophytic fungus *Xylaria* sp. PSU-D14 Phytochemistry, 69 (2008), pp. 1900–1902

Glover F., (1986). Future paths for integer programming and links to artificial intelligence, Computers and Operations Research, 13, 533-549 (1986).

Higher order singularities of morphisms to projective space. Author: Johan P. Hansen Journal: Proc. Amer. Math. Soc. 97 (1986), 226-232. MSC: Primary 14E22

Application of shuffled frog-leaping algorithm on clustering B Amiri, M Fathian, A Maroosi The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 45 (1-2), 199-209

Lee KS and Geem ZW (2005) A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: harmony search theory and practice. Comput. Methods Appl. Mech. Engrg., 194:3902-3933

Ant Colony Optimization M Dorigo, T Stützle MIT Press, Cambridge, Mass, USA

Helena R. Lourenço, Olivier C. Martin and Thomas Stützle (2001) **Handbook of Metaheuristics Iterated Local Search** olume 57 of the series International Series in Operations Research & Management Science pp 320-353 Springer

Fleszar K, Hindi KS: **Solving the resource-constrained project scheduling problem by a variable neighbourhood search**. European Journal of Operational Research 2004, 155(2):402-413.

Bouffard V, Ferland JA: **Improving simulated annealing with variable neighborhood search to solve the resource-constrained scheduling problem**. Journal of Scheduling 2007, 10(6):375-386.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างแบบฟอร์ม



แบบการศึกษา

แนวน้อมความต้องการระบบการขนส่งรถไฟฟ้าสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

คำชี้แจง 1. ด้วยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเรื่อง การศึกษาระบบการขนส่งด้วยรถไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ โดยใช้วิธีการสร้างแบบจำลองและเมตาสวิสติกอัลกอริทึม ดังนั้น เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นประกอบการทำวิจัย คณะผู้วิจัยจึงได้จัดทำแบบสำรวจความต้องการการใช้ระบบขนส่งรถไฟฟ้าสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการสร้างระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ในอนาคต

2. ขอความกรุณาท่านเขียนเครื่องหมาย ✓ ใน ○ หรือเติมคำในช่องว่างตามความจริง

.....

ตอนที่ 1 สถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม

3. เพศ ○ 1) ชาย ○ 2) หญิง
4. อายุ ○ 1) ต่ำกว่า 19 ปี ○ 2) 19 ปี ○ 3) 20 ปี
- ขึ้นไป
5. สถานภาพ ○ 1) นักศึกษา ○ 2) บุคคลากร

ตอนที่ 2 แบบสำรวจเกี่ยวกับความต้องการศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาตรีสาขาเทคโนโลยีการผลิต

7. ท่านเดินทางมามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ด้วยวิธีการใด
- 1) รถจักรยานยนต์ ○ 2) รถยนต์ส่วนบุคคล ○ 3) ระบบขนส่งสาธารณะ
- อื่นๆ โปรดระบุ.....
8. ท่านเคยใช้ระบบขนส่งรถไฟฟ้าสาธารณะในมหาวิทยาลัยอื่นหรือไม่
- 1) เคย ○ 2) ไม่เคย ○ 3) ไม่ทราบว่ามี

9. ถ้าหากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์จะนำระบบขนส่งสาธารณะมาใช้ในมหาวิทยาลัย
ท่านเห็นด้วยหรือไม่

- ☐ 1) เห็นด้วย ☐ 2) ไม่เห็นด้วย ☐ 3) ไม่แน่ใจ

10. ถ้าหากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์จะนำระบบขนส่งสาธารณะมาใช้ท่านจะได้รับ
ประโยชน์หรือไม่

- ☐ 1) ได้รับ ☐ 2) ไม่ได้รับ ☐ 3) ไม่แน่ใจ

11. ถ้าหากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์จะนำระบบขนส่งรถไฟฟ้ามาใช้ท่านจะ
เปลี่ยนแปลงวิธีการเดินทางมาใช้บริการรถไฟฟ้าสาธารณะหรือไม่

- ☐ 1) เปลี่ยน ☐ 2) ไม่เปลี่ยน ☐ 3) ไม่แน่ใจ

12. ท่านคิดว่าสาเหตุใดที่ทำให้ท่านต้องหันไปใช้ระบบขนส่งสาธารณะ

- ☐ 1) ค่าเดินทาง ☐ 2) ความปลอดภัยในการเดินทาง ☐ 3) ความสะดวก
☐ 2) เป็นการเดินทางต่อเนื่องจากการขนส่งสาธารณะรูปแบบอื่น

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ข
ผลลัพธ์จากการหาเส้นทางที่เหมาะสม

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการหาคำตอบเฉพาะที่ (ขนาดเล็ก)

รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ระยะทางรวม	3580	3990	5330	4830	5340	4040	4440	4290	4230	3870	4890	4430	4690	4940	4840
เวลา	19	19	19	19	18	18	18	18	18	18	19	18	18	18	18
ปรับปรุงสุดท้าย	158	15	41	38	65	217	16	10	36	47	0	42	37	56	9

รายการ	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ระยะทางรวม	5230	5140	4690	4740	4640	3880	5080	4430	4590	4280	4430	4750	4680	5150	4440
เวลา	18	18	18	19	18	18	19	18	18	19	18	18	18	19	18
ปรับปรุงสุดท้าย	202	66	5	31	61	33	28	249	27	165	105	49	30	109	1

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการหาคำตอบเฉพาะที่ (ขนาดกลาง)

รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ระยะทางรวม	4720	8330	7460	7070	8090	6710	7870	6520	7700	7800	7670	6520	7100	6110	7370
เวลา	24	24	27	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ปรับปรุงสุดท้าย	659	63	140	102	299	199	85	241	132	278	113	234	110	12	41

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการหาคำตอบเฉพาะที่ (ขนาดกลาง ต่อ)

รายการ	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ระยะทางรวม	7110	7730	5360	8240	5830	8440	7960	7560	7350	6560	7070	7740	7280	7120	7550
เวลา	24	24	25	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ปรับปรุงสุดท้าย	20	136	3	25	13	332	199	403	191	319	22	8	14	49	345

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการหาคำตอบเฉพาะที่วนซ้ำ (ขนาดใหญ่)

รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ระยะทางรวม	6865	13781	14896	15153	15915	15886	16050	16124	15020	14015	14340	15850	14571	14322	14246
เวลา	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
ปรับปรุงสุดท้าย	977	276	382	234	994	531	468	150	221	1447	878	251	480	945	151

รายการ	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ระยะทางรวม	14576	13637	13801	15556	14844	13321	13970	15350	13936	14340	15190	14725	15230	14261	14290
เวลา	38	38	38	39	38	38	39	38	38	39	38	38	38	39	38
ปรับปรุงสุดท้าย	884	670	1177	189	116	395	43	721	27	743	130	1126	637	635	86

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนซ้ำ (ขนาดเล็ก)

รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ระยะทางรวม	3130	3530	3490	3880	3780	3680	3720	3540	3480	3570	3540	3540	3630	3430	3740
เวลา	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
ปรับปรุงสุดท้าย	67	30031	4014	180183	177235	145219	67179	60116	173182	151178	176252	133297	181190	141289	111126

รายการ	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ระยะทางรวม	5230	5140	4690	4740	4640	3880	5080	4430	4590	4280	4430	4750	4680	5150	4440
เวลา	18	18	18	19	18	18	19	18	18	19	18	18	18	19	18
ปรับปรุงสุดท้าย	202	66	5	31	61	33	28	249	27	165	105	49	30	109	1

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการหาคำตอบเฉพาะที่วนซ้ำ (ขนาดกลาง)

รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ระยะทางรวม	4720	8330	7460	7070	8090	6710	7870	6520	7700	7800	7670	6520	7100	6110	7370
เวลา	24	24	27	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ปรับปรุงสุดท้าย	659	63	140	102	299	199	85	241	132	278	113	234	110	12	41

รายการ	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ระยะทางรวม	7110	7730	5360	8240	5830	8440	7960	7560	7350	6560	7070	7740	7280	7120	7550
เวลา	24	24	25	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ปรับปรุงสุดท้าย	20	136	3	25	13	332	199	403	191	319	22	8	14	49	345

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการหาคำตอบเฉพาะที่วนซ้ำ (ขนาดใหญ่)

รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ระยะทางรวม	6865	13781	14896	15153	15915	15886	16050	16124	15020	14015	14340	15850	14571	14322	14246
เวลา	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
ปรับปรุงสุดท้าย	977	276	382	234	994	531	468	150	221	1447	878	251	480	945	151

รายการ	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ระยะทางรวม	14576	13637	13801	15556	14844	13321	13970	15350	13936	14340	15190	14725	15230	14261	14290
เวลา	38	38	38	39	38	38	39	38	38	39	38	38	38	39	38
ปรับปรุงสุดท้าย	884	670	1177	189	116	395	43	721	27	743	130	1126	637	635	86

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการหาคำตอบเฉพาะที่ อาณานิคมมด (ขนาดเล็ก)

รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ระยะทางรวม	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130
เวลา	154	157	159	155	155	154	154	154	154	155	154	154	155	155	154
ปรับปรุงสุดท้าย	0	2	1	16	5	2	0	3	2	2	1	0	2	1	5

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการหาคำตอบเฉพาะที่ อาณานิคมมด (ขนาดเล็ก ต่อ)

รายการ	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ระยะทางรวม	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130	3130
เวลา	154	155	154	154	154	154	156	154	154	156	154	154	154	156	154
ปรับปรุงสุดท้าย	2	0	3	0	5	7	4	0	4	1	1	2	3	1	1

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการหาคำตอบเฉพาะที่ อาณานิคมมด (ขนาดกลาง)

รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ระยะทางรวม	4520	4560	4560	4520	4520	4640	4620	4520	4630	4630	4560	4630	4640	4520	4560
เวลา	327	326	326	327	327	326	326	326	327	326	327	327	327	327	327
ปรับปรุงสุดท้าย	734	694	725	976	574	197	322	239	406	682	603	402	299	110	387

รายการ	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ระยะทางรวม	4560	4520	4520	4560	4570	4700	4470	4630	4640	4600	4510	4560	4640	4620	4520
เวลา	326	327	327	326	326	327	326	327	326	327	326	327	327	327	327
ปรับปรุงสุดท้าย	24	20	185	619	301	373	882	561	209	756	647	528	629	117	68

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการหาคำตอบเฉพาะที่ อาณานิคมมด (ขนาดใหญ่)

รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ระยะทางรวม	6431	6817	6609	6737	6752	6511	6325	6685	6868	6702	6642	6636	6452	6758	6762
เวลา	1349	1352	1352	1353	1354	1354	1353	1353	1354	1353	1356	1354	1356	1354	1355
ปรับปรุงสุดท้าย	11	208	166	787	656	637	15	593	748	94	625	796	489	902	892

รายการ	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ระยะทางรวม	6485	6718	6793	6552	6562	6655	6582	6696	6788	6690	6485	6764	6646	6587	6645
เวลา	1354	1354	1355	1358	1358	1355	1352	1356	1352	1353	1352	1353	1351	1353	1353
ปรับปรุงสุดท้าย	432	85	491	265	301	128	136	435	733	934	196	649	113	679	449

ภาคผนวก ค

ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในวันจันทร์ (เวลาการรอคอย)

วันจันทร์	3 , 719			5 , 589			7 , 500		
Waitting Time	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX
P	1.66	0.00	4.90	10.61	0.98	24.91	30.79	1.82	59.96
1	1.45	0.05	3.75	4.49	0.11	8.85	7.61	0.47	17.48
2	1.80	0.25	4.65	6.18	0.45	16.71	19.81	0.92	32.12
3	2.09	0.18	7.78	6.66	0.29	17.72	11.77	0.65	24.38
4	1.95	0.08	6.39	10.63	0.34	18.36	38.23	2.39	57.20
5	1.79	0.06	7.22	3.03	0.06	9.31	7.83	0.67	16.35
6	2.16	0.28	8.16	3.72	0.07	10.27	6.49	1.00	15.98
7	2.19	0.18	8.77	2.94	0.35	10.85	4.32	0.87	12.96
8	2.07	0.00	9.69	3.84	0.65	11.85	4.41	0.14	13.89
9	2.41	0.31	10.61	3.18	0.54	12.82	4.32	0.14	14.97
10	2.40	0.07	11.29	3.78	0.11	13.39	7.61	0.47	17.48
เฉลี่ย	2.00	0.13	7.56	5.37	0.36	14.09	13.02	0.87	25.71

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในวันจันทร์ (ประชากรในแถวคอย)

วันจันทร์	3 , 719			5 , 589			7 ,500		
Waitting Time	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX
P	7.3349	0	23	45.1	0	117	129.09	0	259
1	0.312	0	3	1.54	0	7	1.7131	0	5
2	0.3451	0	2	1.577	0	5	3.76	0	8
3	0.3494	0	3	1.499	0	5	2.403	0	5
4	0.21	0	2	2.04	0	8	6.4077	0	11
5	0.41	0	3	0.621	0	3	1.9012	0	9
6	0.4317	0	5	0.682	0	5	1.2987	0	6
7	0.2372	0	2	0.5966	0	3	0.795	0	3
8	0.3996	0	4	0.5962	0	5	0.9922	0	6
9	0.44	0	3	0.6098	0	4	1.2253	0	5
10	0.55	0	6	0.78	0	4	1.7131	0	5
เฉลี่ย	1.00	0.00	5.09	5.06	0.00	15.09	13.75	0.00	29.27

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในวันอังคาร (เวลาการรอคอย)

วันอังคาร	3 , 719			5 , 589			7 , 500		
Waitting Time	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX
P	1.6589	0.0049	4.9006	10.6169	0.0978	24.9065	30.7946	1.8177	59.96
1	1.4458	0.0499	3.748	4.3192	0.116	8.8532	6.8382	0.4728	17.17
2	1.8	0.25	4.65	6.3762	0.4488	16.71	20.866	0.917	32.12
3	1.9593	0.1799	5.4803	4.8249	0.285	13.91	7.1026	0.6595	17.74
4	1.731	0.0816	6.3859	5.908	0.34	13.26	26.0942	9.0628	37.71
5	1.7851	0.0557	7.2231	3.0631	0.06047	9.3179	5.9119	0.6674	12.86
6	2.0442	0.278	8.1642	3.947	0.07	10.26	7.6567	0.9988	17.2096
7	2.1896	0.1756	8.7708	2.936	0.3543	10.8562	4.3256	0.8746	12.955
8	2.0651	0.00029	9.6971	3.8431	0.6528	11.85	4.41	0.1436	13.89
9	2.4083	0.3085	10.61	3.1816	0.535	12.8261	4.3246	0.135	14.97
10	2.3972	0.072	11.29	4.3192	0.1116	8.8532	4.4	0.3789	15.5071
เฉลี่ย	1.95	0.13	7.36	4.85	0.28	12.87	11.16	1.47	22.92

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในวันอังคาร (ประชากรในแถวคอย)

วันอังคาร	3 , 719			5 , 589			7 , 500		
Waitting Time	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX
P	7.3349	0	23	45.1	0	117	129.09	0	259
1	0.3122	0	3	1.5022	0	7	1.5386	0	5
2	0.3451	0	2	1.6165	0	5	3.9367	0	8
3	0.3266	0	3	1.0856	0	5	1.4397	0	4
4	0.1976	0	2	1.1362	0	5	4.2881	0	9
5	0.4165	0	3	0.6164	0	3	1.4373	0	7
6	0.4088	0	5	0.7236	0	5	1.5313	0	6
7	0.23	0	2	0.5966	0	3	0.7957	0	3
8	0.3996	0	4	0.5962	0	5	0.9922	0	6
9	0.4429	0	3	0.6098	0	4	0.9922	0	6
10	0.5593	0	6	1.5022	0	7	1.21	0	5
เฉลี่ย	1.00	0.00	5.09	5.01	0.00	15.09	13.39	0.00	28.91

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในวันพุธ (เวลาการรอคอย)

วันพุธ	3,760			5,607			7,496		
Waitting Time	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX
P	1.8918	0.0133	4.7202	19.7905	0.014	40.8	28.8424	2.4158	57.68
1	2.1919	0.2239	6.7308	4.334	0.1251	11.36	5.4698	0.3423	15.1151
2	1.9502	0.0196	5.4086	10.2689	0.6638	24.26	21.9284	8.5517	38.0616
3	1.9092	0.062	5.72	4.0725	0.4021	11.84	7.96	0.7654	22.5
4	1.6156	0.0211	6.7151	2.9595	0.289	9.0806	6.1123	0.4513	18.5074
5	1.6931	0.023	7.5991	2.5015	0.1124	9.3317	4.3826	0.3267	11.2761
6	2.1277	0.01054	8.5703	4.4533	0.0077	11.0533	5.4145	0.0917	14.9978
7	2.0612	0.0835	9.1402	2.9784	0.3298	11.05	4.6816	0.309	12.735
8	1.99	0.0228	10	2.7905	0.217	11.92	4.4117	0.5991	13.6349
9	2.0781	0.119	10.94	2.8931	0.071	12.85	3.4782	0.2017	14.6761
10	2.5333	0.03451	11.44	4.0772	0.0396	13.47	4.9725	0.5259	15.2282
เฉลี่ย	2.00	0.06	7.91	5.56	0.21	15.18	8.88	1.33	21.31

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในวันพุธ (ประชากรในแถวคอย)

วันพุธ	3,760			5,607			7,496		
Waitting Time	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX
P	8.6748	0	26	101..74	0	220	130.57	0	284
1	0.4456	0	3	0.9029	0	4	1.4586	0	5
2	0.4388	0	3	2.2537	0	7	4.459	0	7
3	0.4296	0	2	0.7806	0	4	1.1371	0	4
4	0.3707	0	3	0.602	0	3	1.1371	0	4
5	0.1975	0	3	0.4404	0	3	0.9172	0	5
6	0.656	0	6	1.0779	0	8	1.4439	0	6
7	0.2748	0	3	0.5709	0	4	0.861	0	4
8	0.4319	0	3	0.6533	0	5	0.6985	0	3
9	0.4916	0	4	0.7351	0	4	0.8699	0	8
10	0.5911	0	4	0.8564	0	5	1.0774	0	4
เฉลี่ย	1.18	0.00	5.45	0.89	0.00	24.27	13.15	0.00	30.36

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในวันพฤหัสบดี (เวลาการรอคอย)

วันพฤหัสบดี		3,720			5,588			7,492		
Waitting Time	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX	
P	1.614	0.001655	4.2019	14.5544	0.3973	28.3065	29.0665	1.4428	55.02	
1	1.5374	0.08186	3.748	2.4307	0.3788	5.6523	8.3648	0.6029	20.69	
2	1.6031	0.1875	4.6553	3.7253	0.3644	10.24	24.0819	2.055	52.6311	
3	1.7536	0.00889	5.5408	3.0179	0.5189	7.25	5.4037	0.4236	10.6764	
4	1.5635	0.017618	6.5116	3.4235	1.0101	8.3082	8.0661	0.5774	17.237	
5	2.2469	0.02925	7.4197	2.6586	0.5011	9.1513	4.8446	0.9656	11.39	
6	2.4948	0.0644	8.355	3.9428	0.7211	14.5716	5.8581	0.1081	12.2674	
7	1.8237	0.0141	8.9283	2.1869	0.1086	10.75	4.1674	0.1576	12.84	
8	2.1458	0.048	9.8406	3.6525	0.2773	11.622	4.2373	0.01	13.7054	
9	2.0066	0.0738	10.78	3.7295	0.00229	12.6659	4.6795	0.1261	14.63	
10	2.6178	0.1226	11.26	4.0876	0.002	13.21	4.7558	0.287	15.1358	
เฉลี่ย	1.95	0.06	7.39	4.31	0.39	11.98	9.41	0.61	21.47	

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในวันพฤหัสบดี (ประชากรในแถวคอย)

วันพฤหัสบดี	3,720			5,588			7,492		
Waitting Time	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX
P	6.8332	0	21	57.96	0	115	116.23	0	232
1	0.2947	0	3	0.5083	0	4	1.8821	0	7
2	0.371	0	3	0.714	0	4	6.0343	0	12
3	0.4238	0	4	0.4914	0	3	1.1803	0	4
4	0.2345	0	3	0.6599	0	3	1.3116	0	5
5	0.3558	0	3	0.4874	0	2	0.6863	0	2
6	0.3754	0	4	0.872	0	7	1.1883	0	6
7	0.304	0	3	0.6589	0	4	0.8451	0	5
8	0.5007	0	3	0.5078	0	3	1.1653	0	6
9	0.4682	0	4	0.9391	0	3	0.8189	0	3
10	0.589	0	5	0.9078	0	6	0.9908	0	5
เฉลี่ย	0.98	0.00	5.09	5.88	0.00	14.00	12.03	0.00	26.09

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในวันศุกร์ (เวลาการรอคอย)

วันศุกร์	3,720			5,588			7,492		
Waitting Time	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX
P	1.4824	0.0043	3.0963	3.1115	0.0126	7.6431	15.607	1.9458	33.51
1	1.5686	0.1353	3.7554	3.3548	0.2138	9.0067	4.0953	0.28	13.12
2	1.8076	0.4466	4.9082	5.2107	0.1551	15.441	9.937	1.2658	21.32
3	2.003	0.06	5.69	3.4721	0.249	11.93	19.529	6.4827	28.62
4	1.5726	0.2795	6.7529	4.03	0.1616	9.578	24.4831	1.3942	46.58
5	1.8014	0.1856	7.5201	2.8031	0.0086	9.17	4.2034	0.3579	11.2103
6	1.9995	0.04841929	8.527	3.0746	0.251	10.25	6.1278	0.5424	14.97
7	2.0917	0.6067	9.0904	2.4258	0.3344	10.96	3.6596	0.05523235	12.87
8	2.4961	0.3315	9.9165	3.2613	0.04624	11.9	4.5722	0.036433	13.6685
9	2.313	0.01979466	10.986	3.7852	0.1178	12.95	4.4494	0.05741488	14.6634
10	2.7153	0.2108	11.6127	3.465	0.3068	13.4369	4.2245	0.096	15.2245
เฉลี่ย	1.99	0.21	7.44	3.45	0.17	11.12	9.17	1.14	20.52

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในวันศุกร์ (ประชากรในแถวคอย)

วันศุกร์	3,720			5,588			7,492		
Waitting Time	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX
P	4.5804	0	17	8.8741	0	25	43.1	0	83
1	0.2847	0	3	0.5032	0	2	0.6826	0	3
2	0.3013	0	3	1.0214	0	4	2.0978	0	5
3	0.2835	0	2	0.6602	0	3	3.2986	0	9
4	0.3669	0	4	0.74	0	3	5.3319	0	17
5	0.2402	0	2	0.584	0	4	1.3683	0	4
6	0.4167	0	3	0.74	0	5	1.403	0	4
7	0.2988	0	2	0.5492	0	3	0.9612	0	5
8	0.4105	0	3	0.7346	0	4	0.8145	0	5
9	0.424	0	4	1.01	0	4	0.8183	0	3
10	0.4525	0	4	6.93	0	4	1.1265	0	6
เฉลี่ย	0.73	0.00	4.27	2.03	0.00	5.55	5.55	0.00	13.09

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในวันเสาร์ (เวลาการรอคอย)

วันเสาร์	3,323			5,352			7,323		
Waitting Time	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX
P	1.5687	0.0227	3.0667	2.52	0.0097	5.0667	3.5373	0.0096	7.0667
1	1.7897	0.2191	3.7193	2.6409	0.2594	5.7167	3.5932	0.2983	7.748
2	1.6421	0.1408	4.525	2.675	0.1823	6.5225	3.2297	0.3168435	8.915
3	1.9279	0.05571	5.3382	3.1235	0.6589	7.33	4.538	0.2843	9.8005
4	1.7853	0.05428	6.3741	3.1674	0.4446	8.2622	3.8391	0.0801681	10.7713
5	2.0296	0.1264	7.1508	2.8253	0.3323	9.0912	4.0094	0.278	11.557
6	2.0331	0.1191	8.1145	3.0328	0.03598	10.14	4.0436	0.0837	12.46
7	1.6753	0.1204	8.7166	2.4377	0.152	10.68	4.0893	0.02749	13.05
8	2.3596	0.2201	9.5706	2.8795	0.1691	11.4696	4.4778	0.1909	13.92
9	2.2231	0.07746	10.501	3.5283	0.096	12.4394	4.2428	0.3749	14.96
10	2.6278	0.0053	11.098	3.669	0.1975	12.9905	5.5975	0.3644	15.5907
เฉลี่ย	1.97	0.11	7.11	2.95	0.23	9.06	4.11	0.21	11.44

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในวันเสาร์ (ประชากรในแถวคอย)

วันเสาร์	3,323			5,352			7,323		
Waitting Time	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX
P	1.4587	0	9	2.4195	0	9	2.6235	0	12
1	0.2237	0	2	0.5623	0	3	0.9881	0	4
2	0.4242	0	3	0.6687	0	5	0.619	0	4
3	0.3712	0	5	0.3384	0	2	0.8698	0	6
4	0.2083	0	2	0.6636	0	5	0.8737	0	4
5	0.2706	0	1	0.6216	0	5	0.8687	0	4
6	0.3727	0	3	0.5636	0	3	0.7285	0	4
7	0.3108	0	2	0.5407	0	3	0.886	0	4
8	0.3539	0	3	0.7124	0	4	0.7836	0	4
9	0.5187	0	4	0.7939	0	5	1.0267	0	7
10	0.5256	0	4	0.6417	0	5	1.0262	0	6
เฉลี่ย	0.46	0.00	3.45	0.78	0.00	4.45	1.03	0.00	5.36

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในวันอาทิตย์ (เวลาการรอคอย)

วันเสาร์	3,323			5,352			7,323		
Waitting Time	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX
P	1.5687	0.00227119	3.0667	2.5265	0.0097	5.0667	3.5373	0.00967	7.0667
1	1.7897	0.2191	3.71	2.6409	0.2594	5.7167	3.5932	0.2983	7.748
2	1.6421	0.1408	4.525	2.675	0.1823	6.5225	3.2297	0.03168	8.915
3	1.9279	0.05571	5.3382	3.1235	0.6589	7.3356	4.538	0.2843	9.8005
4	1.7853	0.0542	6.3741	3.1674	0.4446	8.2622	3.8391	0.0801681	10.7713
5	2.0296	0.1264	7.1508	2.8253	0.323	9.0912	4.0094	0.278	11.5578
6	2.0331	0.1191	8.1145	3.0328	0.03595	10.14	4.0436	0.08374035	12.4635
7	1.6753	0.1204	8.7166	2.4377	0.152	10.68	4.0893	0.02749582	13.0582
8	2.3596	0.221	9.5706	2.8795	0.1691	11.46	4.4778	0.1909	13.9244
9	2.2231	0.07746882	10.5	3.5283	0.096	12.43	4.2428	0.3749	14.9681
10	2.6278	0.00535517	11.098	3.669	0.1975	12.99	5.5975	0.3644	15.5907
เฉลี่ย	1.97	0.10	7.11	2.96	0.23	9.06	4.11	0.18	11.44

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในวันอาทิตย์ (ประชากรในแถวคอย)

วันเสาร์	3,323			5,352			7,323		
Waitting Time	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX	AV	Min	MAX
P	1.4587	0	9	2.41	0	9	2.6235	0	12
1	0.2237	0	2	0.5623	0	3	0.9881	0	4
2	0.4242	0	3	0.6687	0	5	0.619	0	4
3	0.3712	0	5	0.3384	0	2	0.8698	0	6
4	0.2083	0	2	0.6636	0	5	0.8737	0	4
5	0.2706	0	1	0.6216	0	5	0.8687	0	4
6	0.3727	0	3	0.5636	0	3	0.7285	0	4
7	0.3108	0	2	0.5407	0	3	0.886	0	4
8	0.3539	0	3	0.7124	0	4	0.7836	0	4
9	0.5187	0	4	0.7939	0	5	1.0267	0	7
10	0.5256	0	4	0.6417	0	5	1.0262	0	6
เฉลี่ย	0.46	0.00	3.45	0.77	0.00	4.45	1.03	0.00	5.36

ประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล นายปัญญา เทียนนาวา
Mrs. Panya Teannawa
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. ตำแหน่งทางวิชาการ -
5. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก
โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ. เพชรบูรณ์ 67000
โทรศัพท์ 056-717100 ต่อ 1608
6. ประวัติการศึกษา
กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา)
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ค.บ. (อุตสาหกรรมศิลป์)
วิทยาลัยครูเพชรบูรณ์
7. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
การเขียนแบบทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
การออกแบบและเขียนแบบชิ้นส่วนเครื่องมือกล
เทคโนโลยีการเชื่อมโลหะ
เทคโนโลยีโลหะแผ่น
8. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

ประวัติคณะผู้วิจัย (ต่อ)

1. ชื่อ-นามสกุล นายธนภัทร มะณีแสง
Mrs. Thanapat Maneesaeng
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำพิเศษ
4. ตำแหน่งทางวิชาการ -
5. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก
โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ. เพชรบูรณ์ 67000
โทรศัพท์ 056-717100 ต่อ 1608
6. ประวัติการศึกษา
วศ.ม.(วิศวกรรมการจัดการ)
มหาวิทยาลัยนเรศวร
วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)
มหาวิทยาลัยนเรศวร
7. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
การวิจัยดำเนินการ
การจำลองสถานการณ์
เมตาฮิวริสติกส์
8. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

