

การเลือกจุดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่มีความจุไฟฟ้า
แตกต่างกันบนเส้นทางหลวงภาคตะวันออกเฉียงเหนือในประเทศไทย



นางสาวปรอยนันต์ โนนใหม่

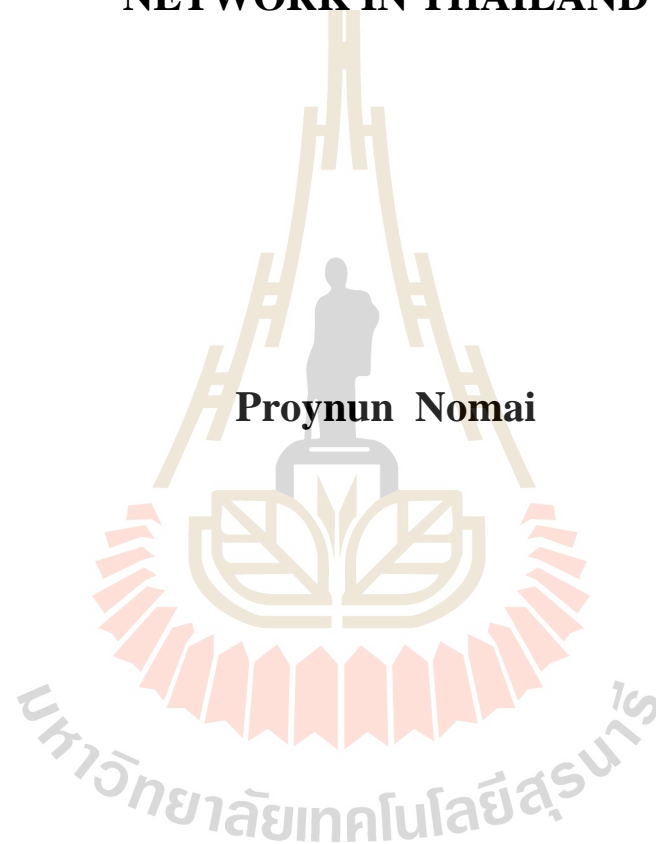
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2561

**CHARGING STATION LOCATIONS FOR MULTI-
CAPACITATED ELECTRIC VEHICLES ON
NORTH-EASTERN HIGHWAY
NETWORK IN THAILAND**

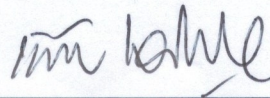


**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Industrial Systems and
Environmental Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2018**

การเลือกจุดที่ตั้งสถานีขาร์จรยนต์ไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่มีความจุไฟฟ้าแตกต่าง
กันบนเส้นทางหลวงภาคตะวันออกเฉียงเหนือในประเทศไทย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.นิวิท เจริญใจ)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



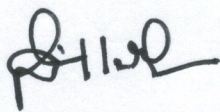
(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

กรรมการ



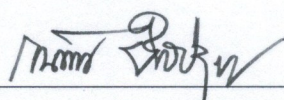
(อ. ดร.นรา สมัตถภาพงศ์)

กรรมการ



(ศ. ดร.สันติ แม้นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ปรอยนันต์ โนใหม่ : การเลือกจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่มีความจุไฟฟ้าแตกต่างกันบนเส้นทางหลวงภาคตะวันออกเฉียงเหนือในประเทศไทย
(CHARGING STATION LOCATIONS FOR MULTI-CAPACITATED ELECTRIC VEHICLES ON NORTH-EASTERN HIGHWAY NETWORK IN THAILAND)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์, 317 หน้า.

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัญหาการเลือกจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสม และมีจำนวนจุดที่ตั้งน้อยที่สุด ซึ่งพิจารณาปัจจัยทางด้านขนาดความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ไม่เท่ากัน สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละรุ่น (Multi-class vehicles) โดยเลือกจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าให้ครอบคลุมตลอดเส้นทาง งานวิจัยนี้ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีทางคณิตศาสตร์แบบฮิวริสติกส์ในการเลือกจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งมีวัตถุประสงค์ คือ การตั้งจำนวนสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่น้อยที่สุด และสามารถครอบคลุมการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าตลอดเส้นทางในกรณีศึกษาเส้นทางหลวงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยมีทั้งหมด 21 จุด ที่เป็นไปได้ในการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า และพิจารณาปัจจัยด้านขนาดความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ไม่เท่ากัน สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละรุ่น โดยแบ่งช่วงการขับขี่ต่อการชาร์จไฟแบตเตอรี่ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ รถยนต์ไฟฟ้าที่วิ่งได้ระยะทาง 120 กิโลเมตร รถยนต์ไฟฟ้าที่วิ่งได้ระยะทาง 200 กิโลเมตร และรถยนต์ไฟฟ้าที่วิ่งได้ระยะทาง 300 กิโลเมตร และกำหนดให้ในปัจจุบันไม่มีสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าอื่น ๆ บนทางหลวงทุกสายที่ได้ศึกษา และได้พัฒนาขั้นตอนวิธีทางคณิตศาสตร์แบบฮิวริสติกส์ในโปรแกรม MATLAB และ Visual basic for applications (VBA) มาช่วยในการแก้ไขปัญหา สำหรับงานวิจัยนี้ ผลลัพธ์จากการศึกษาสรุปได้ว่าจะต้องตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ทั้งหมด 15 จุด จึงจะทำให้รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางจากโหนดเริ่มต้นใด ๆ ไปยังจุดหมายปลายทางบนทางหลวงภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยได้ โดยมีสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้ารองรับเพื่อไม่ให้พลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่หมดระหว่างทาง และครอบคลุมทุกช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้าที่กำหนด ซึ่งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีความถี่ในการถูกเลือกสูงสะท้อนถึงรถยนต์ไฟฟ้าจำนวนมากที่จะจอดเพื่อชาร์จไฟฟ้า ณ สถานีนั้น

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนักศึกษา ปรอยนันต์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ปวีร์

PROYNUN NOMAI : CHARGING STATION LOCATIONS FOR MULTI-
CAPACITATED ELECTRIC VEHICLES ON NORTH-EASTERN
HIGHWAY NETWORK IN THAILAND. THESIS ADVISOR :
ASST. PROF. PAVEE SIRIRUK, Ph.D., 317 PP.

ELECTRIC VEHICLE/CHARGING STATION/HEURISTIC

In this research, the problem of selecting electric vehicle charging station locations, as well as minimizing the total number of charging stations, is considered. Multi-class electric vehicles with various driving ranges are included in the model. As electric vehicles have short driving ranges, the charging stations must cover the entire route. The heuristic approach of selecting charging stations is introduced. The proposed algorithm minimizes the number of charging stations, which cover entire route for multi-class electric vehicles. A case study of selecting charging stations on highways from Bangkok to the North-Eastern region of Thailand with 21 possible charging stations is considered. The multi-class electric vehicle have driving ranges of 120, 200, and 300 kilometers. The heuristic algorithms are developed in MATLAB and Visual basic for applications (VBA). The results showed that solutions were obtained. Fifteen locations of EV charging stations were selected to construct. Those selected EV charging station locations assured that electric vehicles with all three different driving ranges will not run out of battery when traveling in the region. Moreover, the high-frequency locations indicated that more electric vehicles will stop for charging electricity in those charging stations.

School of Industrial Engineering

Academic Year 2018

Student's Signature พรยพูน

Advisor's Signature พวี

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ได้แก่

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
- อาจารย์ ดร.นรา สมัตถภาพงศ์, รองศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ จงกล, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ชัย จิตตะมัย, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภากร พิทยชวาล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงกล ศรีธร คณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- อาจารย์ ดร.ประชาสันต์ แว่นไธสง อาจารย์ประจำสาขาวิชาระบบสารสนเทศ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาด้านวิชาการ
- คุณพรพรรณ ทองแพง คุณกิ่งกาญจนา คุณโคกกรวด คุณสุภาพร คณะพรหม และ คุณยุทธการ แดงโม ที่ช่วยแนะนำ และให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัย
- คุณสุภารัตน์ เขตสูงเนิน คุณณิชาภัทร อากาศสินสุข และ คุณวันต์ภรณ์ จงธนรัชต์ เพื่อนร่วมเรียนระดับปริญญาโทที่ให้กำลังใจ และให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัย
- คุณวโรบล เพ็ชรหมื่นไวย คุณปนัดดา บุญธรรม และคุณปิยกมล สู้สุข เพื่อนร่วมเรียนระดับปริญญาตรี และคุณปราณฤทัย โนนใหม่ น้องสาวของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจมาโดยตลอด

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดี จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

ปรอยนันต์ โนนใหม่

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 บทนำ	8
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.2.1 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการเลือกจุดที่ตั้ง	8
2.2.2 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการเลือกจุดที่ตั้งที่เหมาะสม สำหรับสถานีเดิมเชื้อเพลิงพลังงานทางเลือกโดย จำแนกปัจจัยที่ใช้พิจารณา	15
2.3 รถยนต์ไฟฟ้า	25
2.3.1 รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด	25
2.3.2 รถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด	26
2.3.3 รถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4 รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง.....	27
2.4 เทคโนโลยีของการประจุไฟฟ้า.....	28
2.4.1 การประจุไฟฟ้า แบบปกติ.....	28
2.4.2 การประจุไฟฟ้าแบบเร็ว.....	30
2.4.3 การประจุไฟฟ้าแบบไร้สาย.....	31
2.4.4 การทำงานแบบ Vehicle-2-grid charging (V2G) และแบบ Vehicle-2-home (V2H).....	32
2.5 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม.....	33
2.5.1 Static and deterministic location problems.....	33
2.5.2 Dynamic location problems.....	37
2.5.3 Stochastic location problems.....	39
3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	41
3.1 บทนำ.....	41
3.2 วิธีวิจัย.....	41
3.3 การดำเนินการวิจัย.....	42
3.3.1 การหาวิถีสั้นสุด (Shortest path).....	42
3.3.2 การหาจำนวนจุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับ ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า.....	44
3.3.3 การหาทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ที่เป็นไปได้ทั้งหมด.....	46
3.3.4 การหาทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ที่เป็นไปได้ทั้งหมดทุกช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า.....	48
3.3.5 การหาความถี่ของจุดที่ตั้งแต่ละจุดที่ถูกเลือกให้เป็น จุดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า.....	49
3.3.6 การหาผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือก ที่เป็นไปได้ทั้งหมด.....	49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

	3.3.7 การเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ที่มีผลรวมความถี่มากที่สุด.....	49
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล.....	51
4.1	บทนำ.....	51
4.2	กลุ่มตัวอย่างและตัวแปรที่ทำการวิจัย.....	51
4.3	ผลการวิจัย.....	55
4.3.1	ผลการหาวิถีสั้นสุด (Shortest path).....	55
4.3.2	ผลการหาจำนวนจุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับ ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า.....	57
4.3.3	ผลการหาทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ที่เป็นไปได้ทั้งหมด.....	63
4.3.4	ผลการหาทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดทุก ช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า.....	66
4.3.5	ผลการหาความถี่ของจุดที่ตั้งแต่ละจุดที่ถูกเลือกให้เป็น จุดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า.....	74
4.3.6	ผลการหาผลรวมของความถี่ในแต่ละทางเลือก ที่เป็นไปได้ทั้งหมด.....	75
4.3.7	ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ที่มีผลรวมความถี่มากที่สุด.....	82
5	บทสรุป.....	90
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	90
5.2	ข้อเสนอแนะงานวิจัยต่อไป.....	91
	รายการอ้างอิง.....	92
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. ผลลัพธ์วิถีสั้นสุด ($Route_{ij}$) และผลรวมของระยะทาง ($Dist_{ij}$).....	97

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ข.	ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของ สถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนด ที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}).....	115
ภาคผนวก ค.	ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allcslocation_{ij}$).....	169
ภาคผนวก ง.	ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมด.....	226
ภาคผนวก จ.	ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ที่มีผลรวมความถี่มากที่สุด.....	280
ภาคผนวก ฉ.	บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	308
ประวัติผู้เขียน.....		317

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	สรุปปัจจัยด้านต่าง ๆ ที่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องใช้พิจารณา 24
4.1	หมายเลขทางหลวง อำเภอ และจำนวนประชากรในอำเภอ ของจุดที่ตั้ง ที่ใช้สำหรับการพิจารณาตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด 21 จุด 53
4.2	ระยะทาง (d_{ij}) ระหว่างโหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในรูปที่ 4.1 54
4.3	ตัวอย่างโหนดผลลัพธ์วิถีสั้นสุด ($Route_{ij}$) และผลรวมของระยะทาง ($Dist_{ij}$) ของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) 56
4.4	ตัวอย่างโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Chosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_i) 60
4.5	ตัวอย่างทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_i) 68
4.6	ค่าความถี่ที่แต่ละโหนดถูกเลือกให้เป็นทางเลือกของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 75
4.7	ตัวอย่างผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมด สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละ ช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_i) 76
4.8	ตัวอย่างผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มี ผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_i) 84
4.9	ค่าความถี่ที่แต่ละโหนดถูกเลือกให้เป็นที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า 88
ก.1	ผลลัพธ์วิถีสั้นสุด ($Route_{ij}$) และผลรวมของระยะทาง ($Dist_{ij}$) ของแต่ละ คู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) 98

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.1	ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_i)	116
ค.1	ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allcslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_i)	170
ง.1	ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_i)	227
จ.1	ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_i)	281

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 สถิติปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ในสาขาการขนส่ง ปี พ.ศ. 2537-2560	2
1.2 สถิติจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2556-2560	3
1.3 สถิติร้อยละของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่มีอยู่ในแต่ละประเทศ ณ ปี พ.ศ. 2560	4
2.1 รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle, HEV)	25
2.2 รถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV)	26
2.3 รถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV)	27
2.4 รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV)	28
2.5 ตัวอย่างการประจุไฟฟ้า ระดับที่ 1	29
2.6 ตัวอย่างการประจุไฟฟ้า ระดับที่ 2	30
2.7 ตัวอย่างการประจุไฟฟ้า แบบ DC Fast charging	31
2.8 การทำงานของการประจุไฟฟ้าแบบไร้สาย	32
3.1 ผังงานแสดงขั้นตอนวิธีการหาวิถีสั้นสุด (Shortest path)	43
3.2 ผังงานแสดงขั้นตอนวิธีการหาจำนวนจุดที่ตั้งที่น้อยที่สุด สำหรับตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า	45
3.3 ผังงานแสดงขั้นตอนวิธีการหาทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ที่เป็นไปได้ทั้งหมด	47
3.4 ผังงานแสดงขั้นตอนวิธีการหาทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ที่เป็นไปได้ทั้งหมดทุกช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.5	ผังงานแสดงขั้นตอนวิธีการหาหาความถี่ของจุดที่ตั้งแต่ละจุดที่ถูกเลือกให้เป็นจุดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า การหาผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมด และการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุด.....	50
4.1	แผนที่แสดงจุดที่ตั้งที่ใช้สำหรับการพิจารณาตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด 21 จุด.....	52
4.2	ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรม Solver ใน Microsoft excel ที่ใช้ในการคำนวณหาวิธีที่ดีที่สุด.....	55
4.3	ตัวอย่างวิธีสั้นสุดจากโหนดต้นทาง 4 ($i = 4$) และ โหนดปลายทาง 16 ($j = 16$) และระยะทางระหว่างแต่ละโหนด.....	56
4.4	ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการคำนวณหาจำนวนจุดที่ตั้งที่น้อยที่สุด.....	58
4.5	ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการหาทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด.....	64
4.6	ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดเมื่อพิจารณารถยนต์ไฟฟ้าเดินทางจากโหนดต้นทาง 4 ($i = 4$) ไปยังโหนดปลายทาง 16 ($j = 16$) และช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้าที่ 120 กิโลเมตร ($R_1 = 120$).....	66
4.7	ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการหาทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ของแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p).....	67
4.8	ตัวอย่างหน้าต่าง Visual basic for applications (VBA) ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความถี่ของจุดที่ตั้งแต่ละจุดที่ถูกเลือกให้เป็นจุดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า.....	74
4.9	ตัวอย่างหน้าต่าง Visual basic for applications (VBA) ที่ใช้ในการคำนวณหาผลรวมค่าความถี่ของแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ของแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p).....	76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

4.10 ตัวอย่างหน้าต่าง Visual basic for applications (VBA) ที่ใช้ในเลือกทางเลือก การตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ของแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p).....	83
4.11 โหนดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่ทำให้รถยนต์สามารถเดินทาง จากโหนดเริ่มต้นใด ๆ ไปยังจุดหมายปลายทางได้โดยพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่ ไม่หมดระหว่างทาง และครอบคลุมรถยนต์ไฟฟ้าที่มีขนาดความจุไฟฟ้า ของแบตเตอรี่ที่ไม่เท่ากัน.....	89



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

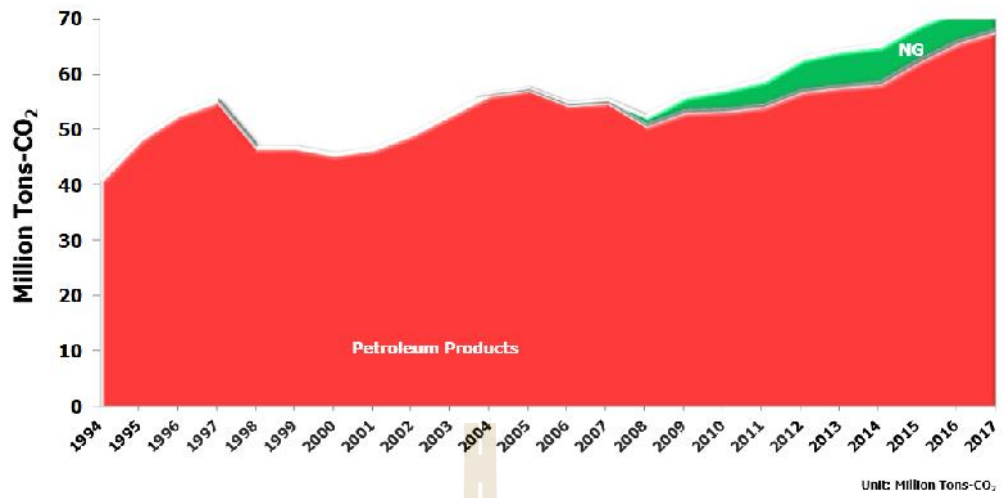
$allslocation_{ij}$	=	ตัวแปรอาร์เรย์ที่บันทึกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดระหว่างโหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j)
$choosed_{ij}$	=	ตัวแปรอาร์เรย์ที่บันทึกค่าโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าระหว่างโหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j)
d_{ij}	=	ระยะห่างระหว่างโหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j)
$Dist_{ij}$	=	ตัวแปรอาร์เรย์ที่บันทึกผลรวมของระยะทางวิถีสั้นสุดระหว่างโหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j)
n_{ij}	=	ตัวแปรอาร์เรย์ที่บันทึกจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าระหว่างโหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j)
R_i	=	ช่วงการจับจี้ของรถยนต์ไฟฟ้า หรือระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าวิ่งได้ต่อหนึ่งรอบการชาร์จไฟแบตเตอรี่
$Route_{ij}$	=	ตัวแปรอาร์เรย์ที่บันทึกค่าโหนดบนวิถีสั้นสุดระหว่างโหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j)
X_{ij}	=	ตัวแปรตัดสินใจ โดยจะเท่ากับ 1 ถ้าเส้นทางระหว่างโหนด i ไปโหนด j คือวิถีสั้นสุด หรือเท่ากับ 0 ถ้าไม่ใช่
EV	=	รถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicles)
i	=	โหนดต้นทาง
j	=	โหนดปลายทาง
S	=	โหนดเริ่มต้น
T	=	โหนดสุดท้าย

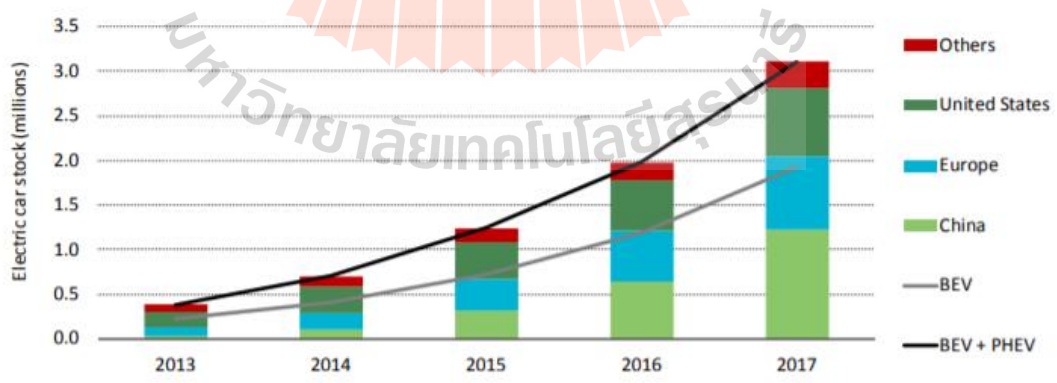
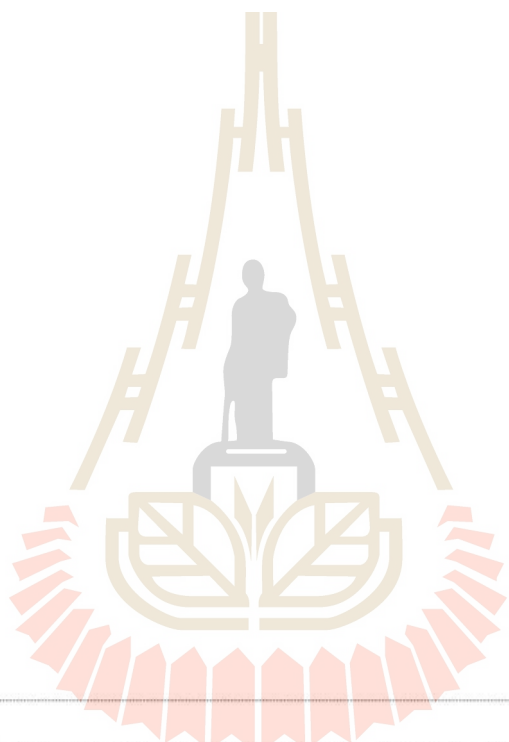
บทที่ 1

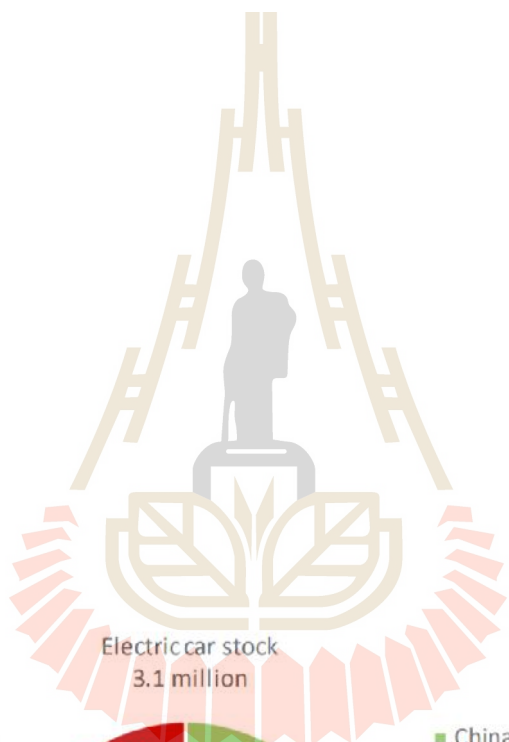
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

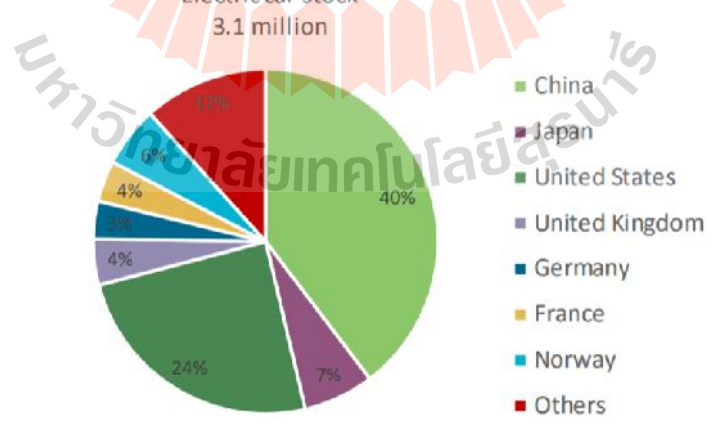
ปัจจุบันนี้หลายภาคส่วนได้ให้ความสำคัญกับเรื่องภาวะโลกร้อน (Global warming) ภาวะโลกร้อน หมายถึง ภาวะที่อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง ภาวะโลกร้อนนี้อาจจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณฝน ระดับน้ำทะเล และมีผลกระทบอย่างกว้างขวางต่อพืช สัตว์ และมนุษย์ ที่มีสาเหตุจากก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) ในชั้นบรรยากาศ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ก๊าซมีเทน, ก๊าซไนตรัสออกไซด์, ก๊าซกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน เป็นต้น ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จัดได้ว่าเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่สุด และเพิ่มปริมาณสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์พบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกนั้น มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ โดยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิลดลง ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ จากกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม การคมนาคมขนส่งที่ใช้เครื่องยนต์ เป็นต้น เชื้อเพลิงเหล่านี้มีสารคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อถูกเผาไหม้จะเกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถูกปลดปล่อยเข้าสู่บรรยากาศโลกรวมกว่าปีละ 30,000 ล้านตัน โดยประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่มีการปล่อยก๊าซนี้ออกมามากที่สุดคือ ประมาณร้อยละ 25 ของปริมาณรวมทั้งหมดของโลก ในขณะที่ประเทศในสหภาพยุโรปได้ปล่อยก๊าซนี้เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 2.2 ประเทศจีนเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 4.7 ในช่วงปีพ.ศ. 2533-2538 แต่ในช่วงเวลาเดียวกันประเทศกำลังพัฒนาหลายประเทศได้มีการปล่อยก๊าซนี้ในอัตราที่สูงกว่าประเทศที่พัฒนาแล้วถึง 3 เท่า ซึ่งเป็นผลจากการเร่งรัดพัฒนาเศรษฐกิจ (เกรียงไกร แสหนทวีสุข, 2550) จากสถิติปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ในสาขาการขนส่ง ดังรูปที่ 1.1 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 จนถึงปัจจุบัน และคาดว่าจะเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ดังนั้นหลายภาคส่วนจึงได้ให้ความสนใจและให้ความสำคัญกับการลดภาวะโลกร้อนนี้ วิธีสำคัญที่จะช่วยชะลอผลกระทบที่จะเกิด คือ การลดมลพิษ และลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก







Electric car stock
3.1 million



ส่วนในประเทศไทยก็เริ่มที่จะมีการใช้เทคโนโลยีการขนส่งพลังงานไฟฟ้าเช่นกัน โดยปัจจุบันรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยยังคงมีแค่รถยนต์ไฟฟ้าประเภทไฮบริด (HEV) และปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) เป็นส่วนใหญ่ ด้วยยอดจดทะเบียนสะสม ณ วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2561 กว่า 122,631 คัน ในขณะที่รถยนต์ไฟฟ้าประเภทแบตเตอรี่ (BEV) ยังคงมีจำนวนเพียง 1,454 คัน (กลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงาน กรมการขนส่งทางบก, 2562) ซึ่งข้อจำกัดของการใช้รถยนต์ไฟฟ้าได้แก่ สถานีชาร์จไฟฟ้าไม่ทั่วถึง ราคาสูง ความจุแบตเตอรี่มีจำกัด ใช้เวลาในการชาร์จแบตเตอรี่นาน มีรუნให้เลือกน้อย เป็นต้น แต่ข้อจำกัดที่สำคัญก็คือสถานีประจุพลังงานไฟฟ้าหรือสถานีชาร์จไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่ยังมีอยู่น้อยมาก เทียบไม่ได้เลยกับสถานีบริการน้ำมันหรือก๊าซต่าง ๆ ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์

อย่างไรก็ตาม กระทรวงพลังงานได้มีแผนการขับเคลื่อนภารกิจด้านพลังงานเพื่อส่งเสริมการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้ ระยะที่ 1 การเตรียมความพร้อมการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า (พ.ศ. 2559-2560) เน้นการนำร่องการใช้งานกลุ่มรถโดยสารสาธารณะไฟฟ้า เนื่องจากจะเกิดประโยชน์กับประชาชนในวงกว้างและสามารถพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับการใช้งานได้ง่าย รวมถึงดำเนินการเตรียมความพร้อมด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อรองรับการส่งเสริมการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคต โดยจะมีการดำเนินการ 4 ส่วน ดังนี้ (1) จัดทำโครงการนำร่องใช้งานยานยนต์ไฟฟ้ากลุ่มรถโดยสารสาธารณะ (2) ศึกษาการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นจากการใช้งาน (3) เตรียมความพร้อมด้านสาธารณูปโภคที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้า และ (4) เตรียมความพร้อมรองรับด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น เตรียมความพร้อมเกี่ยวกับการสนับสนุนด้านภาษี การปรับปรุงกฎหมายหรือกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง อัตราค่าบริการสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า บุคลากรในอุตสาหกรรมรถยนต์ไฟฟ้า การสนับสนุนงานวิจัยพัฒนาด้านการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า เป็นต้น ระยะที่ 2 การขยายผลการดำเนินงานกลุ่มรถโดยสารสาธารณะและเตรียมความพร้อมสำหรับการส่งเสริมรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคล (พ.ศ. 2561-2563) โดย (1) สนับสนุนการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานตามจำนวนรถโดยสารสาธารณะที่จะเพิ่มในช่วงเวลา พ.ศ. 2561-2563 (2) กำหนดรูปแบบและมาตรฐานสถานีอัดประจุไฟฟ้าและการขออนุญาตในการให้บริการอัดประจุไฟฟ้า (3) ศึกษาและกำหนดมาตรการเพื่อจูงใจให้เอกชนลงทุนพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้า และ (4) ศึกษาและทบทวนโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า และอัตราค่าบริการสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้า ระยะที่ 3 การขยายผลไปสู่การส่งเสริมรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคล (พ.ศ. 2564 เป็นต้นไป) โดย (1) สนับสนุนการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของระบบไฟฟ้าให้สอดคล้องกับปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่จะเพิ่มขึ้น (2) พัฒนาระบบบริหารจัดการการอัดประจุไฟฟ้าอัจฉริยะ (EV smart charging) เข้ามาช่วยลดการลงทุนในการ

ปรับปรุงระบบไฟฟ้า (3) การพัฒนาระบบบริหารความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศร่วมกับการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า (Vehicle to grid: V2G) (กระทรวงพลังงาน, 2559) การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) แสดงความพร้อมดำเนินโครงการจัดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้า 4 สถานีเพื่อรองรับโครงการนำร่องการใช้งานรถโดยสารสาธารณะไฟฟ้าของ ขสมก. จำนวน 200 คัน ใช้เวลาอัดประจุประมาณ 30 นาทีรถสามารถวิ่งได้ประมาณ 90-100 กิโลเมตร โดยติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้า 10 แห่ง โดยอยู่ในสำนักงานเขตของการไฟฟ้านครหลวง ได้แก่ การไฟฟ้านครหลวง สำนักงานใหญ่ เพลินจิต, การไฟฟ้านครหลวง เขตวัดเลียบ, เขตสามเสน, เขตบางขุนเทียน, เขตลาดกระบัง, เขตบางเขน, เขตบางใหญ่, เขตราชบุรีบูรณะ, เขตสมุทรปราการ และฝ่ายธุรกิจขนส่งและผลิตภัณฑ์ บางพุด ซึ่งเป็นสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว (Quick charge) ด้านการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) มีแผนดำเนินโครงการนำร่องรถโดยสารสาธารณะไฟฟ้าและจัดตั้งสถานีอัดประจุ 4 สถานีเพื่อรองรับนักท่องเที่ยวเส้นทางสนามบินสุวรรณภูมิ-พัทยา (คณะทำงานศึกษาและจัดทำแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย, 2559)

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของปัญหาสถานีชาร์จไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าไม่เพียงพอ ขาดการวางแผนที่ดี และต้องการสนับสนุนนโยบายและแผนงานของทั้งภาครัฐและเอกชนในการสนับสนุนการใช้รถยนต์ไฟฟ้าที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจทำการศึกษาคำถามที่ค้างคาใจของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมและครอบคลุม เพื่อรองรับการใช้รถยนต์ไฟฟ้าที่กำลังจะเพิ่มมากขึ้นในประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยการเลือกตำแหน่งที่ตั้งสถานีชาร์จรถไฟฟ้า

1.2.2 เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีทางคณิตศาสตร์แบบฮิวริสติกส์สำหรับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมในการตั้งสถานีชาร์จรถไฟฟ้า เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านความจุไฟฟ้าแตกต่างกันของรถยนต์ไฟฟ้า

1.2.3 เพื่อพัฒนาวิธีแก้ปัญหาคือการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมในการตั้งสถานีชาร์จรถไฟฟ้า เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านความจุไฟฟ้าแตกต่างกันของรถยนต์ไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการเลือกจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าโดยพิจารณาปัจจัยด้านขนาดความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ไม่เท่ากันสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละรุ่น (Multi-class vehicles) แบ่งช่วงการขับขี่ต่อรอบการชาร์จไฟแบตเตอรี่ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ รถยนต์ไฟฟ้าที่วิ่งได้ระยะทาง 120

กิโลเมตร รถยนต์ไฟฟ้าที่วิ่งได้ระยะทาง 200 กิโลเมตร และรถยนต์ไฟฟ้าที่วิ่งได้ระยะทาง 300 กิโลเมตร โดยการเลือกจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจะอยู่บนถนนทางหลวงแผ่นดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ ทางหลวงที่ขึ้นต้นด้วยหมายเลข 2 (กรมทางหลวง) พิจารณาทางหลวงที่มีหมายเลขตัวเดียว และทางหลวงที่มีหมายเลขสองตัว โดยตั้งสมมติฐานว่ายังไม่มีการสร้างสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าอยู่ก่อนแล้วบนเส้นทางหลวงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในส่วนของขั้นตอนวิธีทางคณิตศาสตร์จะกำหนดจุดที่ตั้งที่สามารถตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าไว้ก่อน แล้วจึงหาจุดที่ตั้งที่เหมาะสมโดยมีวัตถุประสงค์ คือ เลือกจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสม และจำนวนจุดที่ตั้งน้อยที่สุดเพื่อการลงทุน โดยสามารถครอบคลุมรถยนต์ไฟฟ้าทุกช่วงการขับขี่ต่อการชาร์จไฟแบตเตอรี่

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ทราบถึงปัจจัยการเลือกตำแหน่งที่ตั้งสถานีชาร์จรถไฟฟ้า
- 1.4.2 ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมในการตั้งสถานีชาร์จรถไฟฟ้า เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านความจุไฟฟ้าแตกต่างกันของรถยนต์ไฟฟ้า
- 1.4.3 ได้วิธีแก้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมในการตั้งสถานีชาร์จรถไฟฟ้า เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านความจุไฟฟ้าแตกต่างกันของรถยนต์ไฟฟ้า

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในการศึกษาวิจัยการเลือกจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่มีความจุไฟฟ้าแตกต่างกัน บนเส้นทางหลวงภาคตะวันออกเฉียงเหนือในประเทศไทย ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้างานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดปัจจัยเงื่อนไขที่ใช้พิจารณาการเลือกจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า รวมถึงศึกษาหลักการทฤษฎีที่สามารถประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการเลือกจุดที่ตั้ง

Owen and Daskin (1998) ได้ศึกษาเรื่องสถานที่ตั้งเชิงกลยุทธ์ ในงานศึกษานี้ได้รายงานวรรณกรรมที่ระบุถึงลักษณะเชิงกลยุทธ์ของปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งโดยการพิจารณาลักษณะปัญหาแบบสุ่มหรือแบบไดนามิก สูตรแบบไดนามิกมุ่งเน้นไปที่ประเด็นปัญหายาก ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการหาสถานที่ (หรือสิ่งก่อสร้าง) ที่ขายในแนวราบ และยังได้นำเสนอสูตร Stochastic ที่พยายามจับความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ที่เป็นปัญหาการป้อนข้อมูล เช่น พยากรณ์ความต้องการ หรือค่าระยะทาง วรรณกรรม Stochastic แบ่งออกเป็นสองชั้น คือ ชั้นการกระจายความน่าจะเป็นของพารามิเตอร์ที่ไม่แน่นอน และชั้นจับความไม่แน่นอนมาวางแผนสถานการณ์ มีการกล่าวถึงรูปแบบของสูตรและวิธีการแก้ปัญหาหลากหลายรูปแบบ ได้แก่ ปัญหา Median problems ที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ระยะทางถ่วงน้ำหนักโดยรวมระหว่างลูกค้าและสถานที่ตั้งน้อยที่สุด ปัญหา Covering problems มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ต้นทุนของสถานที่ตั้งต่ำที่สุด หรือครอบคลุมปริมาณความต้องการมากที่สุด ปัญหา Center problems มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ระยะห่างสูงสุดระหว่างโหนดความต้องการกับสถานที่ใกล้ที่สุดต่อน้อยที่สุด ปัญหา Dynamic deterministic problems ซึ่งมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เหมือนกับ Covering problems คือ ครอบคลุมปริมาณความต้องการมากที่สุด แต่คำตอบนั้นอาจได้ค่าที่ดีที่สุดหรือเพียงแคได้ใกล้เคียงค่าที่ดีที่สุดเท่านั้น และสุดท้ายได้กล่าวถึงปัญหา Scenario planning models มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ความสูญเสียที่ได้กำหนดไว้ในข้อจำกัดน้อยที่สุด รูปแบบของสูตรและวิธีการแก้ปัญหาที่ได้กล่าวถึงสามารถนำไปใช้งานได้ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท

Lin et al. (2008) ได้ศึกษาเรื่องแนวทาง Fuel-travel-back สำหรับตำแหน่งสถานีไฮโดรเจน ปัญหาของตำแหน่งสถานีไฮโดรเจนมักจะได้รับการศึกษาโดยการทำความเข้าใจพฤติกรรมเพิ่มเติมเชื้อเพลิงหรือการทบทวนประสบการณ์ของสถานีน้ำมันเบนซิน ความคิดที่ว่า การขับรถมากขึ้นเป็นสิ่งที่ต้องเติมเชื้อเพลิงมากขึ้น บทความนี้จึงได้พัฒนาแนวทางใหม่ในการจัดตำแหน่งสถานีเป็นปัญหา Fuel-travel-back และข้อมูลที่สำคัญที่ต้องใช้ก็คือการกระจายของระยะทางไมล์ของยานพาหนะที่เดินทาง ปัญหา Fuel-travel-back เป็นปัญหาในการขนส่งโดยทั่วไปและสามารถแก้ไขได้โดยใช้รูปแบบการเขียนโปรแกรมแบบ Mix-integer-programming model เมื่อเวลา Fuel-travel-back ในการเดินทางรวมลดลงจะทำให้เวลาในการเติมเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยแบบผู้ขับขี่ลดลง ซึ่งจะมีการหักล้างทฤษฎีแบบจำลองนี้ถูกนำมาใช้เพื่อหาแนวทางการเปิดสถานีที่เหมาะสมสำหรับตอนใต้ของแคลิฟอร์เนีย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า หากข้อจำกัดของขนาดสถานีลดลงเพียง 18% ของจำนวนสถานีน้ำมันเบนซินที่มีอยู่นั้นเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้สามารถเข้าถึงน้ำมันเบนซินในภูมิภาค บางสถานีที่จะเปลี่ยนไปสู่สถานีขนาดใหญ่และจำเป็นต้องตรวจสอบความคิดปัจจุบันเกี่ยวกับการออกแบบของสถานีไฮโดรเจนและระบบการจัดจำหน่ายและดำเนินการศึกษาระดับภูมิภาคเพิ่มเติมเพื่อระบุภูมิภาคที่มีแนวโน้มมากขึ้นหรือน้อยลงสำหรับเชื้อเพลิงไฮโดรเจน ผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นว่าสถานีแรกควรตั้งอยู่อย่างมีกลยุทธ์ในแง่ของภูมิภาค และบางครั้งก็รวมไปถึงสถานีที่ไม่ต้องการซึ่งตรงกันข้ามกับภูมิภาคดั้งเดิม

Wang and Lin (2009) ได้ศึกษาเรื่องการค้นหาตำแหน่งที่ตั้งสถานีเติมเชื้อเพลิงยานพาหนะ การศึกษานี้เป็นไปตามแนวคิดของความครอบคลุมสำหรับเขตของสถานีเติมเชื้อเพลิงโดยใช้ Mixed integer programming ตามตรรกะของการกำหนดเส้นทางยานพาหนะ มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ต้นทุนเกี่ยวกับสถานีเติมน้ำมันต่ำที่สุด ซึ่งแต่ละสถานีที่ก็จะมิต้นทุนที่แตกต่างกัน สำหรับวิธีการแก้ปัญหานั้นจะใช้เฉพาะข้อมูลที่เกี่ยวข้องการหาเมทริกซ์ระยะทางระหว่างต้นทางถึงปลายทาง กรณีศึกษาที่น่าสนใจจะมุ่งเน้นไปที่การค้นหาตำแหน่งที่ตั้งสถานีเติมเชื้อเพลิงเพื่อให้เกิดการเดินทางระหว่างเมืองปลายทางหลายเส้นทางนำเสนอผ่านการปรับใช้แบบจำลองกับยานพาหนะไฟฟ้าในได้หวัน การวิเคราะห์ความอ่อนไหวแสดงให้เห็นว่าช่วงการขับขี่ของยานพาหนะที่มากขึ้นจะส่งผลให้มีจำนวนสถานีเติมเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าจำนวนที่ต้องวางไว้ ดังนั้นช่วงการขับขี่จึงเป็นสิ่งสำคัญในการลดต้นทุนของสถานที่ตั้งและเป็นประเด็นสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีเชื้อเพลิงทดแทน

Wang and Wang (2010) ได้ศึกษาการค้นหาตำแหน่งที่ตั้งสถานีเติมเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ การศึกษานี้เป็นไปตามแนวคิดของความครอบคลุมเขตและตรรกะของการเติมเชื้อเพลิงยานพาหนะ เพื่อนำเสนอแบบจำลองแบบไฮบริด ที่มีวัตถุประสงค์แบบคู่ คือ ต้นทุนต่ำสุด

และการครอบคลุมสูงสุด โดยใช้แบบจำลองแบบ Mixed integer programming สำหรับสถานที่ตั้งสถานีเติมเชื้อเพลิงในเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อจำลองการให้บริการทั้งการเดินทางภายในเมืองและระหว่างเมือง แบบจำลองนี้สามารถใช้ในการวางแผนเครือข่ายสถานีเติมน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับตลาดยานยนต์เชื้อเพลิงทดแทนที่เกิดขึ้นใหม่ ในการศึกษานี้ได้ใช้ Branch and bound algorithm ในการแก้ปัญหาแบบจำลองข้างต้น จากกรณีศึกษาในชีวิตจริง ปัจจัยเรื่องระยะเวลาช่วงการขับขี่ และระบอบครอบคลุมมีบทบาทสำคัญในการแก้ปัญหาทุกปัญหา จากการ ใช้การแก้ปัญหาแบบที่ไม่ดีน้อยกว่า (Non-inferior solutions) ทำให้ผู้ตัดสินใจสามารถกำหนดแผนการใช้งานสถานีได้ดียิ่งขึ้น

Pearre et al. (2011) ได้ศึกษาเรื่องยานพาหนะไฟฟ้าว่าควรมีช่วงการขับขี่เท่าไรที่จำเป็นสำหรับการขับขี่ในหนึ่งวัน ในหนึ่งปีได้เพิ่มข้อมูลการขับขี่ความละเอียดสูงจากยานพาหนะชนิดเครื่องยนต์เบนซิน 484 คัน ในสหรัฐอเมริกาจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบการขับขี่ในชีวิตประจำวันและวิเคราะห์หาช่วงการขับขี่ที่ยานพาหนะไฟฟ้า (Electric vehicles, EVs) ต้องการ ผู้ศึกษาจะสมมติว่าผู้ขับขี่ยานพาหนะไฟฟ้าจะไม่เปลี่ยนรูปแบบการขับขี่จากการใช้น้ำมันเบนซินในปัจจุบันและจะชาร์จไฟเพียงวันละครั้งเท่านั้น จากนั้นจะแบ่งตลาดออกเป็นผู้ใช้ที่ขับขี่ยานพาหนะเต็มระยะจำกัดของช่วงการขับขี่ที่ต้องการของทุกวัน และผู้ใช้ที่สามารถขับเต็มช่วงขับขี่ที่ต้องการในแต่ละวันแค่เพียงบางครั้งเมื่อพวกเขาจำเป็นต้องปรับการใช้งานเท่านั้น ตัวอย่างการปรับการใช้งานของผู้ขับขี่ ยกตัวอย่างเช่น พวกเขาจำเป็นต้องชาร์จในระหว่างวัน มีการใช้เชื้อเพลิงเหลว หรือเก็บสำรองไว้สำหรับวันถัดไป จากการวิเคราะห์นี้ด้วยสมมติฐานที่ระบุนั้น ได้อนุมานส่วนแบ่งตลาดที่อาจเกิดขึ้นสำหรับยานพาหนะที่มีระยะจำกัด ตัวอย่างเช่น พบว่า 9% ของยานพาหนะในกลุ่มตัวอย่างมีการขับขี่ในระยะไม่เกิน 100 ไมล์ในหนึ่งวัน และ 21% มีการขับขี่ในระยะไม่เกิน 150 ไมล์ในหนึ่งวัน ผู้ขับขี่เหล่านี้จะสามารถใช้รถยนต์เชื้อเพลิงทดแทนที่มีระยะจำกัด เช่นยานพาหนะไฟฟ้าที่กำหนดในท้องตลาดแทนรถเบนซินที่ใช้ในปัจจุบันโดยไม่ต้องปรับตัวในการขับขี่เลย สำหรับผู้ใช้ที่จำเป็นต้องปรับการใช้งานเพียง 2 วันต่อปี ในระยะเดียวกันคือ 100 ไมล์ ยานพาหนะไฟฟ้าจะตอบสนองความต้องการถึง 17% ของผู้ขับขี่ และหากพวกเขาจำเป็นต้องปรับการใช้งานหนึ่งครั้งเดือนเว้นเดือน (หกครั้งต่อปี) ยานพาหนะไฟฟ้าจะตอบสนองความต้องการถึง 32% ของผู้ขับขี่ ดังนั้นผลลัพธ์ที่ออกมาคือรถยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีแบตเตอรี่ที่จำกัดในปัจจุบันหากวางการตลาดอย่างเหมาะสมกับกลุ่มที่มีพฤติกรรมการขับขี่ที่เหมาะสม ก็จะมีตลาดขนาดใหญ่พอสำหรับการขายรถยนต์เชื้อเพลิงทดแทน การวิเคราะห์เพิ่มเติมคือการตรวจสอบการขับขี่และการจอร์รถตามช่วงเวลาของวัน โดยเฉลี่ยแล้วในวันธรรมดาช่วง 17.00 น. มีเพียง 15% ของรถในกลุ่มตัวอย่างยังขับขี่อยู่บนถนน และไม่มีช่วงเวลาไหนที่ยานพาหนะจอดอยู่น้อยกว่า 75% นอกจากนี้ช่วงเวลาเดินทางกลับบ้านก็มีความ

การจัดกระจาย แม้ว่ารถทั้งหมดจะเริ่มชาร์จทันทีเมื่อมาถึงที่บ้านและที่จอดรถ ความต้องการที่เพิ่มขึ้นในระบบไฟฟ้านั้นจึงมีปัญหาน้อยกว่าที่ได้มีการวิเคราะห์ไว้ก่อนหน้านี้

Shepherd et al. (2012) ได้ศึกษาการคาดการณ์ถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มขึ้นและกลยุทธ์ที่เกี่ยวข้องกับ โครงสร้างพื้นฐานด้านการเติมเชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่เป็นไปได้ การเปลี่ยนจากเครื่องยนต์สันดาปภายในเครื่องยนต์เบนซินไปเป็นยานพาหนะไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน (Fuel cell electric vehicles, FCEVs) มีแนวโน้มที่จะกลายเป็นองค์ประกอบหลักของกลยุทธ์เพื่อลดก๊าซเรือนกระจกในอนาคต คุณภาพอากาศ ความเป็นอิสระของเชื้อเพลิง และเป้าหมายด้านความมั่นคงด้านพลังงาน การวางแผนโครงสร้างพื้นฐานขั้นสูงสามารถลดต้นทุนของโครงสร้างพื้นฐานของไฮโดรเจนในขณะที่มั่นใจได้ว่าจะได้รับประโยชน์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้นำเสนอวิธีการวางแผนขั้นสูงที่ครอบคลุมสำหรับการติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานของไฮโดรเจน และประยุกต์ใช้วิธีการในการกำหนดกลยุทธ์โครงสร้างพื้นฐานที่สร้างขึ้น ประเมินผลกระทบด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง ช่วยให้สามารถกำหนดกลยุทธ์การขยายโครงสร้างพื้นฐานที่เหมาะสม และระบุศักยภาพในการผลิตไฮโดรเจนหมุนเวียนได้ กลุ่มน้ำชายฝั่งทางตอนใต้ของรัฐแคลิฟอร์เนียซึ่งเป็นเป้าหมายของผู้ผลิตรถยนต์เพื่อใช้งานเชิงพาณิชย์ในระดับภูมิภาคครั้งแรกของ FCEVs เป็นจุดเน้นในการศึกษาครั้งนี้ ข้อมูลเชิงลึกดังต่อไปนี้เป็นผลมาจากการประยุกต์ใช้วิธีการ (1) เมื่อเทียบกับสถานีบริการน้ำมันเบนซินในปัจจุบันแล้ว สถานีเติมเชื้อเพลิงไฮโดรเจนมีเพียงร้อยละ 11-14 เท่านั้นที่สามารถให้บริการแก่ผู้ขับขี่ในพื้นที่เป้าหมาย (2) เพื่อตอบสนองความต้องการความจุที่เหมาะสมสำหรับการเติมน้ำมันไฮโดรเจน ประมาณ 30% ของจำนวนสถานีไฮโดรเจนจะต้องเทียบกับสถานีน้ำมันเบนซินในปัจจุบัน (3) การแทนที่เชื้อเพลิงเบนซินด้วยไฮโดรเจน FCEVs ทำให้มีศักยภาพในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึงกว่า 80% ลดความต้องการพลังงานลง 42% และลดการใช้ น้ำมันจากภาคยานพาหนะและยังลดความเข้มข้นของโอโซนและ PM2.5 (4) แหล่งกำเนิด Bio methane ที่มีอยู่ใน กลุ่มน้ำชายฝั่งทางตอนใต้ของรัฐแคลิฟอร์เนียสามารถให้พลังงานได้ถึง 30% ของความต้องการใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจน สำหรับสถานการณ์ของไฮโดรเจนFCEV ที่สร้างขึ้นอย่างเต็มที่ (5) การปรับเปลี่ยนอย่างชาญฉลาดรอบคอบของสถานีบริการน้ำมันเบนซินที่มีอยู่ในการจัดหาและรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นสำหรับเชื้อเพลิงไฮโดรเจนจะช่วยให้สามารถปรับใช้โครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญในเชิงรุก ได้แก่ รูปแบบธุรกิจ การแบ่งเขต การเอื้ออำนวย และการยอมรับจากสาธารณะ

Egbue & Long (2012) ได้ศึกษาเรื่องอุปสรรคต่อการยอมรับยานยนต์ไฟฟ้าอย่างกว้างขวางโดยการวิเคราะห์ทัศนคติและการรับรู้ของผู้บริโภค ยานพาหนะไฟฟ้า (EVs) ได้รับการยกย่องว่าเป็นเทคโนโลยียานพาหนะระยะใกล้ที่สามารถทำงานได้เพื่อลดการพึ่งพาเชื้อเพลิง

ฟอสซิลและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas, GHG) ที่เกี่ยวข้องกับยานพาหนะแบบเดิม ๆ แม้ว่ายานพาหนะไฟฟ้าจะมีข้อดี แต่ก็ยังมีอุปสรรคหลายอย่างต้องเอาชนะก่อนเพื่อที่ยานพาหนะไฟฟ้าจะได้เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง อุปสรรคสำคัญคือผู้บริโภคมักต่อต้านเทคโนโลยีใหม่ ๆ มักจะคิดว่ายังไม่ได้รับการรับรอง ดังนั้นการตัดสินใจเชิงนโยบายที่คำนึงถึงความกังวลที่สำคัญของผู้บริโภคจะมีความสำเร็จในระดับสูง งานวิจัยนี้ระบุอุปสรรคทางสังคมและเทคนิคที่อาจเกิดขึ้นต่อการนำยานพาหนะไฟฟ้ามาใช้ของผู้บริโภคและกำหนดว่าปัญหาความยั่งยืนจะมีผลต่อการตัดสินใจซื้อยานพาหนะไฟฟ้าของผู้บริโภคหรือไม่ การศึกษานี้ให้ข้อมูลเชิงลึกที่มีคุณค่าในการตั้งค่าและการรับรู้ของผู้ที่ชื่นชอบเทคโนโลยี คือบุคคลที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเทคโนโลยีและมีอุปกรณ์ที่ดีกว่าเพื่อแยกแยะความแตกต่างระหว่างยานพาหนะไฟฟ้า (Electric vehicles, EVs) และยานพาหนะแบบเดิม ๆ (Conventional vehicles, CVs) กลุ่มบุคคลกลุ่มนี้มีแนวโน้มที่จะเป็นผู้ที่ใช้ยานพาหนะไฟฟ้าในช่วงแรกเริ่ม หากพวกเขาเห็นว่าประสิทธิภาพดีกว่ายานพาหนะแบบเดิม ๆ ผลลัพธ์เหล่านี้สามารถเป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายด้านพลังงานและการคมนาคม นอกจากนี้ยังสามารถให้คำแนะนำในการตัดสินใจของวิศวกรที่เกี่ยวข้องกับยานพาหนะไฟฟ้า ในการรวมเอาความต้องการของผู้บริโภคเข้ากับการออกแบบยานพาหนะไฟฟ้าทางวิศวกรรม

Hess et al. (2012) ได้ศึกษาเรื่องการจัดวางสถานีชาร์จสำหรับเครือข่ายยานพาหนะไฟฟ้าอย่างเหมาะสมที่สุด โดยนำเสนอโมเดลสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าและการใช้งานแบตเตอรี่ การเคลื่อนย้ายยานพาหนะ สถานีชาร์จไฟ และการแก้ปัญหาสำหรับตำแหน่งที่เหมาะสมของสถานีชาร์จ การศึกษานี้จะสมมติสถานการณ์ที่เครือข่ายยานพาหนะไฟฟ้ากำลังแล่นไปจนกว่าจะตรวจพบแบตเตอรี่ที่ต่ำ และพวกเขาจะเชื่อมต่อผ่านทาง Vehicular ad-hoc หรือเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ เพื่อได้รับการโฆษณาสถานีชาร์จและรับการนำทางไปที่สถานีเหล่านี้ เพื่อช่วยให้ผู้ใช้แต่ละรายสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเดินทางของตนในแง่ของเวลาที่ลดลงในการค้นหาสถานีชาร์จไฟ และลดเวลาเดินทางโดยรวม ข้อมูลเกี่ยวกับที่ตั้งสถานีชาร์จ และสถานะ ในอนาคตอาจจะเป็นไปในรูปแบบของจำนวนปลั๊กที่ว่างพร้อมให้ใช้งาน และเวลารอคอยโดยเฉลี่ยในขณะนั้น งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างพื้นฐานการชาร์จจะได้มาจากเวลาการเดินทางเฉลี่ยของยานพาหนะไฟฟ้า วิธีการจัดตำแหน่งได้ใช้การเขียนโปรแกรมทางพันธุกรรมและการจำลองการเคลื่อนที่ของยานพาหนะไฟฟ้าในยุโรป และงานวิจัยนี้ได้ผลลัพธ์ของการศึกษาจากการจำลองของการเคลื่อนที่ของยานพาหนะมาใช้บนแผนที่เมืองจริง เช่น แผนที่เมืองเวียนนา และแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมทางพันธุกรรมจะสร้างผลลัพธ์ซึ่งมีความน่าเชื่อถือทางสถิติ

Stephens-Romero et al. (2011) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต โดยได้พัฒนาแบบจำลองพลวัตของระบบของการใช้ยานพาหนะไฟฟ้าในสหราชอาณาจักรในอีก 40 ปีข้างหน้า แบบจำลองนี้ต่อขยายงานวิจัยก่อนหน้านี้ของ Struben และ Sterman (2008) เพื่อใช้วิเคราะห์การตลาดในสหราชอาณาจักร ผู้ศึกษาได้พิจารณาผลกระทบของการอุดหนุน และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของปัจจัยต่าง ๆ เช่น เงินส่งเสริม ช่วงการขับขี่ จุดชาร์จที่พร้อมใช้งาน อัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และภาษี งานศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเงินส่งเสริมมีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อการเข้าสู่กิจการภายใต้ธุรกิจแบบเดิมตามปกติ อย่างไรก็ตามเมื่อเราแนะนำการจำลองสถานการณ์การตลาดแบบมีเงื่อนไข ว่ามีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นตลาดสู่เส้นทางที่ประสบความสำเร็จ ความอ่อนไหวของผลลัพธ์ที่ได้จากสมมติฐานเกี่ยวกับคำพูด อายุการใช้งานเฉลี่ยของยานพาหนะ และอัตราการปล่อยมลพิษที่ได้รับสำรวจ ผู้ศึกษาได้พบว่าการเปลี่ยนแปลงของสิ่งเหล่านี้ อาจส่งผลกระทบต่อการใช้รถและการปล่อยมลพิษมากกว่าปัจจัยด้านนโยบายหรือคุณสมบัติของยานพาหนะ ผลลัพธ์ของงานศึกษานี้ยังมีผลกระทบต่อนโยบายที่สำคัญอีกด้วย

Gao and Guo (2013) ได้ศึกษาเรื่องการวางแผนสถานีชาร์จไฟสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าแบบ Phased electric vehicle ที่เหมาะสม โดยในการศึกษานี้ได้แบ่งการวางแผนตำแหน่งสถานีชาร์จไฟสำหรับยานพาหนะไฟฟ้าไว้ 2 ระยะ คือระยะสาธิตสาธารณะ และระยะดำเนินงานเชิงพาณิชย์ ในระยะสาธิตสาธารณะ เป็นการวางแผนระยะสั้น โดยใช้แบบจำลองแบบครอบคลุมมากที่สุด (Maximal covering model) เพื่อใช้กำหนดตำแหน่งของสถานีชาร์จและผู้ศึกษาได้เลือกใช้ Branch and bound method ในการแก้ปัญหาสำหรับระยะสาธิตสาธารณะนี้ แต่ในส่วนของระยะดำเนินงานเชิงพาณิชย์จะเป็นการวางแผนในระยะยาวเพื่อศึกษาเขตพื้นที่ให้บริการสถานีชาร์จไฟด้วยแผนภาพ Voronoi และมีข้อจำกัดของวิธีการวางแผนที่ดีที่สุด (Optimal planning method) ที่นำเสนอการเพิ่มขึ้นของตำแหน่งสถานีใหม่ ๆ และการแบ่งเขตพื้นที่บริการ วิธีการนี้จะใช้วิธี Most greatly air circuit method และลักษณะเฉพาะแบบไดนามิกของแผนภาพ Voronoi เพื่อยืนยันว่ามีการกระจายของสถานีชาร์จที่เหมาะสม จากนั้นแบบจำลองของสถานีชาร์จที่มีการจัดสรรกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมจะถูกสร้างขึ้นโดยใช้แบบจำลอง M/M/c และในตอนท้ายของการศึกษานี้ยังได้มีการจำลองตำแหน่งสถานีชาร์จไฟอีกด้วย

Nie and Ghamami (2013) ได้ศึกษาเรื่องแนวทาง Corridor-centric ในการวางแผนโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการชาร์จไฟของรถยนต์ไฟฟ้า การเปลี่ยนไปใช้ยานพาหนะไฟฟ้า (Electric vehicles, EV) กำลังเผชิญกับอุปสรรคสำคัญ 2 แง่มุม ในแง่หนึ่งแบตเตอรี่ยานพาหนะไฟฟ้ายังคงมีราคาแพงและถูกจำกัดด้วยระยะการขับขี่เนื่องจากขาดการพัฒนาด้าน

เทคโนโลยี และอีกในแง่หนึ่งการสนับสนุนโครงสร้างพื้นฐานที่ค่อยพัฒนาโดยเฉพาะอย่างยิ่งการขาดแคลนโครงสร้างพื้นฐานในการเติมเชื้อเพลิงอย่างรวดเร็วทำให้ยานพาหนะไฟฟ้าไม่เหมาะสำหรับการเดินทางระยะทางไกลและระยะปานกลาง วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือเพื่อทำความเข้าใจอุปสรรคเหล่านี้และพัฒนากลยุทธ์ในการเอาชนะปัญหาเหล่านี้ ด้วยเหตุนี้แนวคิดของแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพจึงถูกนำเสนอเพื่อนำมาวิเคราะห์การเดินทางโดยยานพาหนะไฟฟ้าด้วยระยะไกล วัตถุประสงค์ของแบบจำลองคือการเลือกขนาดของแบตเตอรี่และความสามารถในการชาร์จ (ทั้งในด้านกำลังการชาร์จไฟของแต่ละสถานีและจำนวนสถานีที่จำเป็นในเส้นทาง) เพื่อให้ได้ระดับการให้บริการที่เหมาะสมในลักษณะที่ต้นทุนทางสังคมรวมจะลดลง งานศึกษานี้ยังได้พิจารณาสองส่วนการขยาย ข้อแรกให้ข้อสันนิษฐานว่าการชาร์จไฟที่สถานีเป็นตัวแปรที่ต่อเนื่อง ตัวแปรที่สองพิจารณาการสลับแบตเตอรี่เป็นทางเลือกหนึ่งในการชาร์จ การวิเคราะห์ของงานศึกษาชี้ให้เห็นว่า (1) กระบวนทัศน์ในปัจจุบันของการพัฒนาสถานีที่ชาร์จไฟที่มุ่งเน้นการชาร์จไฟระดับ 2 ทำให้มีระดับการให้บริการที่ไม่ดีสำหรับการเดินทางระยะไกล (2) วิธีการชาร์จระดับ 3 เป็นสิ่งที่จำเป็นไม่เพียงแต่เพื่อให้ได้บริการที่เหมาะสมเท่านั้น แต่ยังช่วยลดต้นทุนทางสังคม (3) การลงทุนด้านเทคโนโลยีแบตเตอรี่เพื่อลดต้นทุนของแบตเตอรี่น่าจะมีผลกระทบมากขึ้นในการลดต้นทุนการชาร์จ และ (4) การแลกเปลี่ยนแบตเตอรี่ให้บริการระดับสูงแต่อาจไม่เหมาะสมสำหรับสังคมในระดับปานกลางของการบริการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อค่าใช้จ่ายในการสร้างสถานีแลกเปลี่ยนและสถานีชาร์จอยู่ใกล้

Cai et al (2014) ได้ศึกษาการเลือกที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าสาธารณะในปักกิ่งโดยใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ที่แสดงถึงรูปแบบการเดินทางของแท็กซี่ ผู้ศึกษาได้สังเกตเห็นความท้าทายของการประมาณความต้องการในการชาร์จไฟฟ้าเนื่องจากข้อมูลการเดินทางที่สมจริงนั้นยังน้อยอยู่ การชาร์จไฟสาธารณะแตกต่างจากการเติมเชื้อเพลิงทั่วไปสองด้าน คือ เวลาที่ต้องใช้ในการชาร์จ และความเป็นไปได้ที่จะชาร์จไฟที่บ้าน งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลเส้นทางการเดินทางของแท็กซี่ประมาณ 11,880 คัน ในกรุงปักกิ่งเป็นกรณีศึกษา เพื่อประเมินว่ารูปแบบการเดินทางที่ได้จากข้อมูลขนาดใหญ่สามารถช่วยในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของระบบชาร์จไฟสาธารณะ โดยแบบจำลองมีวิธีการคือ เริ่มจากจำแนกเหตุการณ์ที่แท็กซี่จอด จากข้อมูลที่มีเพื่อประเมินโอกาสในการชาร์จไฟสาธารณะ รวบรวมโอกาสในการชาร์จไฟสาธารณะออกมาให้อยู่ในรูปของตำแหน่งที่รถแท็กซี่จำนวนมากเลือกที่จะจอดเป็นระยะเวลาสั้น จากนั้นให้คะแนนกับสถานีเติมน้ำมันแต่ละแห่งให้สอดคล้องกับการระบุโอกาสในการชาร์จไฟ จากนั้นจะเลือกชุดสถานีเติมน้ำมันที่ไม่ซ้ำกันตามเกณฑ์ที่ต่างกัน (เช่น จำนวนเหตุการณ์ที่รถมาจอดสูงสุด ระยะเวลาจอดสูงสุดต่อวัน หรือระยะเวลาจอดเฉลี่ยต่อคัน) ให้เป็นสถานีชาร์จ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า (1) จุด

จลดครถสาธารณะเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีสำหรับความต้องการชาร์จไฟฟ้า (2) สถานีชาร์จที่ตั้งโดยใช้รูปแบบการเดินทางสามารถปรับปรุงอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า และลดการใช้น้ำมันเบนซิน (3) ตารางการปล่อยก๊าซ CO₂ SO₂ และ NO_x จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระบบแท็กซี่พลังงานไฟฟ้า ในขณะที่การปล่อยก๊าซ CO จะลดลง และ (4) ความต้องการพลังงานสำหรับการชาร์จแท็กซี่สาธารณะมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงวันของช่วงที่ร้อนที่สุดในฤดูร้อนที่ปักกิ่ง

2.2.2 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการเลือกจุดที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับสถานีเติมเชื้อเพลิงพลังงานทางเลือกโดยจำแนกปัจจัยที่ใช้พิจารณา

นักวิจัยหลายท่านได้พัฒนาปัญหาการเลือกทำเลที่ตั้ง (Facility location problem: LP) เพื่อศึกษาจุดที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับสถานีเติมเชื้อเพลิงพลังงานทางเลือก มีหลายปัจจัยที่นักวิจัยท่านอื่นใช้พิจารณาค้นหาจุดที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับสถานีเติมเชื้อเพลิงพลังงานทางเลือก โดยผู้วิจัยได้จำแนกงานวิจัยจากปัจจัยที่ใช้พิจารณา ดังนี้

- งานวิจัยค้นหาจุดที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับสถานีเติมเชื้อเพลิงพลังงานทางเลือกโดยพิจารณารูปแบบการเดินทางของผู้ใช้ยานพาหนะ (Driving pattern)

Ventura et al. (2015) ได้ศึกษาเรื่องปัญหาตำแหน่งเครือข่ายแบบต่อเนื่องสำหรับสถานีเติมเชื้อเพลิงแห่งหนึ่งบนเครือข่ายต้นไม้ (Tree network) การศึกษานี้จะพิจารณาปัญหาตำแหน่งสถานีเติมเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่องหนึ่งแห่งบนเครือข่ายต้นไม้ ซึ่งเป็นโครงสร้างทั่วไปของหลายเส้นทางทั่วโลก เพื่อหาสถานที่ที่เหมาะสมที่สุดในเครือข่าย เริ่มแรกก็มีคุณสมบัติสองประการเกี่ยวกับการลดขนาดปัญหา จากนั้นหลังจากแนะนำแนวคิดเกี่ยวกับเส้นทางเพิ่มเติมเชื้อเพลิงแล้วผู้ศึกษาก็ได้แสดงให้เห็นว่าสถานที่บางแห่งที่ดีที่สุดสามารถหาได้คือที่จุดสิ้นสุดของเส้นทางเติมเชื้อเพลิงเหล่านี้ สุดท้ายยังได้พัฒนาขั้นตอนวิธีทางคณิตศาสตร์ของจุดเติมน้ำมันแบบเดี่ยว (Single refueling point algorithm) เพื่อกำหนดชุดของจุดสิ้นสุดที่เหมาะสมซึ่งจะเพิ่มการครอบคลุมการไหลของการเดินทาง (Maximizes the traffic flow) คิดเป็นรอบต่อวันของสถานีนั้น ในงานศึกษานี้ยังได้ยกตัวอย่างของเครือข่ายต้นไม้ขนาดเล็กและแก้ไขเพื่อแสดงการทำงานอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอ

Asamer et al. (2016) ได้ศึกษาเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพตำแหน่งที่ตั้งสถานีชาร์จสำหรับผู้ใช้บริการรถแท็กซี่ในเมือง การศึกษานี้ได้นำเสนอระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการตั้งสถานีชาร์จเพื่อตอบสนองความต้องการในการชาร์จของรถแท็กซี่ไฟฟ้า มีการดำเนินงานโดยใช้ข้อมูลจากรถแท็กซี่ประมาณ 800 คัน เพื่อการระบุและประมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าของรถแท็กซี่ไฟฟ้า โดยดูจากเวลาที่รถแท็กซี่เดินทางจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดหมายปลายทาง การศึกษานี้ได้กำหนดปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งที่ครอบคลุมมากที่สุด (Maximal covering location problem)

และนำไปแก้ปัญหาเพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการชาร์จไฟฟ้ามากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และมีเงื่อนไขคือ จำนวนสถานีชาร์จจำกัด โดยจำนวนสถานีชาร์จมาจากข้อตกลงระหว่างข้อจำกัด ด้านงบประมาณ และความครอบคลุมถึงความต้องการชาร์จและเครือข่ายบนท้องถนน อีกทั้งในการศึกษาปัญหานี้ได้มีการพิจารณาสถานีชาร์จที่มีอยู่ก่อนแล้ว ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพนี้ มุ่งเน้นไปที่การหาบริเวณที่เหมาะสมสำหรับตั้งสถานีชาร์จมากกว่าตำแหน่งที่แน่นอน และสถานี ที่ตั้งจะเป็นแบบ Fast charging station แบบจำลองปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งที่ครอบคลุมมากที่สุด นี้ เป็นปัญหาแบบ Mixed-integer nonlinear program (MINLP) และผู้ศึกษาได้ใช้ IBM ILOG CPLEX ในการแก้ปัญหา สุดท้ายแนวทางการศึกษานี้ได้ถูกนำไปดำเนินการในเมืองเวียนนา ประเทศออสเตรีย

Hof et al. (2017) ได้พัฒนาวิธีแก้ปัญหาสำหรับปัญหาการกำหนดเส้นทาง ยานพาหนะด้วยการหยุดกลางทาง (โดยใช้ตัวอย่างของ Adaptive variable neighborhood search (AVNS)) เพื่อแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางและตำแหน่งสถานีเปลี่ยนแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ ไฟฟ้าที่มีความจุไฟฟ้าจำกัด ปัญหาของงานวิจัยนี้มีการกำหนดตำแหน่งของสถานีเปลี่ยนแบตเตอรี่ และกำหนดเส้นทางของยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อให้บริการแก่ลูกค้า โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ผลรวมของค่า ก่อสร้างและค่าเดินทางน้อยที่สุด

- งานวิจัยค้นหาจุดที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับสถานีเติมเชื้อเพลิงพลังงาน ทางเลือกโดยพิจารณารูปแบบการเติมเชื้อเพลิงยานพาหนะ (Refueling pattern)

Upchurch et al. (2009) ได้ศึกษาแบบจำลองค้นหาตำแหน่งที่ตั้งสำหรับสถานีเติม เชื้อเพลิงพลังงานทางเลือก โดยใช้แบบจำลอง Flow-refueling location model (FRLM) พัฒนา เพื่อให้ลงทุนน้อยที่สุดเท่าที่จำเป็นในการสร้างโครงสร้างพื้นฐานการเติมเชื้อเพลิง และค้นหา ตำแหน่งของสถานีเติมเชื้อเพลิงที่เหมาะสม งานวิจัยนี้ได้เสนอแบบจำลอง FRLM ซึ่งจำกัดจำนวน ยานพาหนะที่เติมน้ำมันในแต่ละสถานี นอกจากนี้ยังนำเสนอฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 2 แบบ คือ ให้ จำนวนรอบการเดินทางของยานพาหนะมากที่สุด และให้ยานพาหนะเดินทางได้ระยะทางมากที่สุด และได้เสนอกรณีศึกษาใช้แบบจำลองกับเครือข่ายในเมืองในรัฐแอริโซนาและบริเวณใกล้เคียง เพื่อ เปรียบเทียบระหว่างฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 2 แบบ

Andrews et al. (2013) ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองและการเพิ่มประสิทธิภาพ สำหรับโครงสร้างพื้นฐานการชาร์จไฟฟ้าสำหรับยานพาหนะไฟฟ้า โดยได้ศึกษาวิธีที่ยานพาหนะ ไฟฟ้าในปัจจุบันจะมีประสิทธิภาพในการตอบสนองความต้องการในการขับขี่ของผู้ใช้ และได้ นำเสนอรูปแบบการเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อหาสถานที่สำหรับตั้งสถานีชาร์จไฟฟ้าที่จำเป็นในการ สนับสนุนการใช้งานยานพาหนะไฟฟ้า ผู้ศึกษาได้ใช้ข้อมูลที่เปิดเผยต่อสาธารณชนจากการสำรวจ

การเดินทางซึ่งเน้นเป็นแบบบุคคล และยังสร้างชุดข้อมูลของยานพาหนะที่เป็นศูนย์กลาง การวิเคราะห์ทางสถิติของชุดข้อมูลสำหรับเมืองเหล่านี้แสดงให้เห็นว่ายานพาหนะส่วนใหญ่เดินทางน้อยกว่าช่วงการขับขี่เฉลี่ยของยานพาหนะไฟฟ้าที่มีอยู่ในท้องตลาด เนื่องจากระยะทางที่เดินทางไม่ได้เป็นปัจจัยเดียวส่งผลต่อช่วงการขับขี่ของยานพาหนะไฟฟ้า ผู้ศึกษาจึงพัฒนารูปแบบการชาร์จไฟของผู้ใช้ซึ่งจะกำหนดตำแหน่งและวิธีการชาร์จไฟยานพาหนะจากการเดินทางทั้งหมดของยานพาหนะและความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานการชาร์จไฟฟ้า ยานพาหนะที่การเดินทางไม่ครบรอบการเดินทางทั้งหมด จะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลในแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งสถานีชาร์จที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบ Mixed integer programming ที่มีวัตถุประสงค์คือระยะทางรวมน้อยที่สุด (Minimize the total distance traveled) สุดท้ายการศึกษานี้ยังได้นำเสนอผลการเพิ่มประสิทธิภาพโดยอ้างอิงข้อมูลจากเมืองซิกาโกและเมืองซีแอตเทิล ในสหรัฐอเมริกา

- งานวิจัยค้นหาจุดที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับสถานีเติมเชื้อเพลิงพลังงานทางเลือกโดยพิจารณาจุดที่ตั้ง และจำนวนจุดที่ตั้ง (Two level)

Micari et al. (2017) ได้ศึกษาวิธีการคำนวณหาจำนวนสถานีชาร์จไฟฟ้าที่ต้องการสำหรับ ยานยนต์ไฟฟ้า และการกำหนดตำแหน่งในเครือข่ายถนน จุดมุ่งหมายคือการวางแผนกระจายพื้นที่ให้บริการสถานีชาร์จไฟฟ้า โดยพิจารณาอุปสงค์ (การไหลของยานยนต์ไฟฟ้า) และอุปทาน (เครือข่ายถนนที่จะถูกจัดตำแหน่ง) ผ่านแบบจำลองประเมินสองระดับคือ ระดับแรก หาตำแหน่งที่กำหนดไว้ในตอนแรก หลังจากนั้น ระดับที่สอง หาจำนวนสถานีชาร์จสำหรับแต่ละพื้นที่บริการ บทความนี้ได้เสนอกรณีศึกษาบนเครือข่ายทางหลวงของอิตาลี

- งานวิจัยค้นหาจุดที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับสถานีเติมเชื้อเพลิงพลังงานทางเลือกโดยพิจารณาความต้องการที่ไม่คงที่ (Demand dynamics)

Chung and Kwon (2015) ได้ศึกษาการวางแผนระยะยาวสำหรับสถานีที่ชาร์จรถยนต์ด้วยไฟฟ้า กรณีศึกษาทางด่วนของประเทศเกาหลี การศึกษานี้ได้กำหนดรูปแบบการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยแบบจำลอง Flow-refueling location model แบบหลายช่วงเวลา เพื่อการวางแผนเชิงกลยุทธ์สำหรับการหาตำแหน่งที่ตั้งสถานีชาร์จไฟฟ้า ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบ Mixed-integer linear programming และมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ความครอบคลุมการไหลสูงสุด นอกจากนี้ผู้ศึกษาได้เสนอวิธี Myopic method สองแบบ คือ Forward-myopic methods และ Backward-myopic สุดท้ายการศึกษานี้ได้เสนอการพัฒนากฎการตัดสินใจจากข้อมูลการไหลของการจราจรจริงของเครือข่ายทางด่วนในประเทศเกาหลี ปี 2011 และจะพิจารณาเปรียบเทียบเกี่ยวกับผลการดำเนินงานของทั้งสามวิธี ที่ได้จากการใช้วิธี branch-and-bound ในการแก้ปัญหา

Miralimoghi et al (2017) ได้ศึกษาเรื่องปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งสถานีเติมเชื้อเพลิงที่มีการเบี่ยงเบนจากการจราจรในหลายช่วงเวลา ในงานศึกษานี้จะพิจารณาปัญหาในการหาตำแหน่งที่ตั้งสถานีเติมเชื้อเพลิงในเครือข่ายการขนส่งโดยใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์รูปแบบที่นำเสนอสามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ และเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับเชื้อเพลิงไฮโดรเจน โดยสมมติว่าผู้วางแผน ผู้ผลิตไฮโดรเจน หรือหน่วยงานของรัฐ ต้องการจะกำหนดตำแหน่งสถานีเติมน้ำมันสำหรับเครือข่ายการขนส่งภายในเขตเมืองที่กำหนด โดยมีสิ่งต้องคำนึงถึง เช่น ความต้องการในการเดินทางหลายช่วงเวลา ต้นทุนในการดำเนินงานของสถานีเติมเชื้อเพลิงแบบไม่เชิงเส้น และค่าเบี่ยงเบนของการเดินทางจากเส้นทางที่สั้นที่สุดในการเติมเชื้อเพลิง การรวมเอารูปแบบความต้องการในหลายช่วงเวลาจะช่วยให้สามารถอธิบายถึงความต้องการในการเติมน้ำมันไฮโดรเจนทั้งในระยะสั้นและระยะยาว นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงในค่ากำหนดของผู้ใช้ (ทางเลือกสถานีและเส้นทาง) และสภาพการจราจรในแต่ละช่วงเวลา และมีการพิจารณาค่าต้นทุนการดำเนินงานของสถานีเติมน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการตัดสินใจลงทุน ผู้ศึกษาได้แนะนำฟังก์ชันต้นทุนแบบบันได (Staircase marginal cost function) และการพิจารณาแบบจำลองเกี่ยวกับสถานีและเส้นทางของการเดินทางของผู้ขับขี่ เนื่องจากอาจเกิดการเบี่ยงเบนไปจากเส้นทางเดิมในการเติมเชื้อเพลิงทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมและส่งผลกระทบต่อจำนวนและตำแหน่งของสถานีเติมเชื้อเพลิง ปัญหานี้ได้ถูกกำหนดเป็น Mixed integer program แบบหลายช่วงเวลาที่มีระยะเวลาในการเดินทางคงที่และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของสถานีเติมเชื้อเพลิงแบบบันได ผู้ศึกษาได้ใช้ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาที่รู้จักกันดีทั้งสองแบบ คือ แบบ Branch-and-bound และแบบ Lagrangian relaxation การวิเคราะห์การศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นว่าการแก้ปัญหาตำแหน่งสถานีเติมเชื้อเพลิงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยวิธีการ Branch-and-bound และแบบ Lagrangian relaxation ได้ให้ผลลัพธ์ที่ดีและใช้เวลาในการคำนวณน้อยลง นอกจากนี้การศึกษานี้ยังได้นำเสนอตัวอย่างเชิงตัวเลขของเมืองมัสฮัด ประเทศอิหร่าน ที่แสดงให้เห็นการหาตำแหน่งที่ตั้งสถานีเติมเชื้อเพลิงด้วยการพิจารณารูปแบบการจราจรหลายช่วงเวลาส่งผลให้เกิดความแออัดของการจราจรบนเครือข่ายการจราจรน้อยลง และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้และหน่วยงานยังน้อยกว่าอีกด้วย

- งานวิจัยค้นหาจุดที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับสถานีเติมเชื้อเพลิงพลังงานทางเลือกโดยพิจารณาตัวเลือกเส้นทางและความต้องการที่ไม่แน่นอน (Route choices and demand uncertainty)

Lo and Tung (2003) ได้ศึกษาเครือข่ายที่มีการเชื่อมโยงแบบแยกย่อยจากการวิเคราะห์และออกแบบขีดความสามารถ โดยได้พัฒนาวิธีการในการสร้างแบบจำลองเครือข่ายเมื่อความสามารถในการเชื่อมโยงขึ้นกับ Stochastic degradations ในรูปแบบของสถานีการณ

การจราจรในแต่ละวัน ซึ่งทำให้เกิดความแปรปรวนของเวลาในการเดินทาง เราตั้งสมมติฐานว่าผู้ขับขี่จะเลือกเส้นทางที่จะลดความแปรปรวนของเวลาในการเดินทาง เช่นเดียวกับที่จะลดเวลาในการเดินทางเฉลี่ยของพวกเขา เมื่อเวลาผ่านไปผู้โดยสารจะเรียนรู้ความแปรปรวนของเวลาในการเดินทางของเส้นทางโดยพิจารณาจากประสบการณ์ที่ผ่านมา ปัจจัยความแปรปรวนดังกล่าวจะส่งผลในการพิจารณาทางเลือกเส้นทางของพวกเขา และปรับตัวให้เข้าสู่รูปแบบสมดุลในระยะยาว การศึกษานี้ได้แสดงลักษณะพฤติกรรมทางเลือกเส้นทางเมื่อต้องเผชิญกับระยะเวลาการเดินทางที่ไม่แน่นอนด้วยแนวคิดเกี่ยวกับ Probabilistic user equilibrium (PUE) ผู้ศึกษาได้กำหนดและจัดทำ PUE ด้วยวิธีการที่เชื่อถือได้ และได้พัฒนาโปรแกรมทางคณิตศาสตร์แบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear mathematical program) เพื่อศึกษาความสมดุลระหว่างการไหลสูงสุดที่เครือข่ายสามารถดำเนินการได้ (Maximum flow a network) และขอบเขตของความพึงพอใจของ PUE ในด้านความเชื่อถือได้ของข้อจำกัด การวิเคราะห์แบบจำลองสมการนี้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติที่น่าสนใจบางอย่าง สมการที่ได้นำเสนอสามารถใช้ในการวิเคราะห์เครือข่ายที่มีอยู่แล้วหรือต้องการปรับปรุงโดยการปรับเปลี่ยนความสามารถในการเชื่อมโยง สุดท้ายในการศึกษานี้ยังได้มีการศึกษาเชิงตัวเลขสำหรับตัวอย่างการเชื่อมโยง 19 รายการ เพื่อแสดงสมรรถนะและคุณสมบัติของสมการ

Kim and Kuby (2012) ได้ศึกษาเรื่องรูปแบบการเติมเชื้อเพลิงแบบเบี่ยงเบนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเครือข่ายสถานีเติมเชื้อเพลิง การศึกษานี้ได้พัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองแบบ Mixed-integer linear programming ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการหาตำแหน่งที่ตั้งของสถานีเติมเชื้อเพลิงโดยพิจารณาจากระยะช่วงการขับขี่ที่จำกัดของยานพาหนะ และยังมีความเบี่ยงเบนที่เกิดจากความตั้งใจของผู้ขับขี่ที่เบี่ยงเบนไปจากเส้นทางที่สั้นที่สุดเพื่อเติมเชื้อเพลิงยานพาหนะของตน เมื่อมีเครือข่ายสถานีเติมน้ำมันเชื้อเพลิงกระจุกกระจายกันอยู่ แบบจำลอง Deviation-flow refueling location model (DFRLM) ถูกนำมาใช้หาตำแหน่งที่ตั้งสถานี โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ปริมาณการไหลทั้งหมดมากที่สุดบนเส้นทางเบี่ยงเบน สมมติให้เมื่อความต้องการไหลที่สถานีลดลงคือค่าเบี่ยงเบนของผู้ขับขี่ที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือสันนิษฐานจำนวนผู้ขับขี่ที่เข้ารับบริการจากสถานีนอกเส้นทางที่วางแผนไว้ล่วงหน้าของพวกเขาจะลดลงเมื่อค่าเบี่ยงเบนที่ความต้องการเพิ่มขึ้น ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าเบี่ยงเบนสูงสุดที่อนุญาตและรูปแบบค่าแบบเบี่ยงเบนเฉพาะจะมีผลกับการหาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุดของสิ่งก่อสร้างและมีผลต่อค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เช่นกัน

Capar et al. (2013) ได้ศึกษาการกำหนดสูตร Arc cover-path-cover และการวิเคราะห์เชิงกลยุทธ์ของตำแหน่งที่ตั้งสถานีเติมเชื้อเพลิงทดแทน ในการศึกษานี้ได้นำเสนอรูปแบบใหม่ของการเติมเชื้อเพลิงที่ใช้ช่วงของยานพาหนะและการเดินทางระหว่างคู่ต้นทางถึงปลายทาง

คือแบบจำลอง AC-PC FRLM model มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ปริมาณการเข้ารับบริการสูงสุด แบบจำลองที่นำเสนอมีขนาดกะทัดรัดและสามารถแก้ปัญหาได้เร็วกว่า สูตรที่กะทัดรัดที่สามารถแก้ไขได้เร็วขึ้นจะช่วยให้ฝ่ายที่เกี่ยวข้องสามารถทำงานร่วมกับปัญหาที่เกิดขึ้นจริงได้มากขึ้นเพื่อนำไปใช้งานเกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐาน จากนั้นผู้ศึกษายังได้ศึกษาชุดคำถามเชิงกลยุทธ์จากมุมมองขององค์กรที่ใช้สถานีเชื้อเพลิงทดแทน โดยจะตอบคำถามด้วยแบบจำลอง SC-AC-PC FRLM model มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีเติมเชื้อเพลิงน้อยที่สุดที่เพียงพอต่อการให้บริการ การศึกษานี้ได้นำเสนอสูตร FRLM ทั่วไปที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้นและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้เชื้อเพลิงหลายชนิดและใช้ได้ในมาตราส่วนทางภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกัน

He et al. (2013) ได้ศึกษาเรื่องการปรับใช้สถานีชาร์จสาธารณะที่เหมาะสมกับรถยนต์ไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน (Plug-in hybrid electric vehicles, PHEVs) การศึกษานี้ได้พัฒนารอบการสร้างแบบจำลองสมดุลซึ่งจะอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่าง โอกาสของความพร้อมใช้งานการชาร์จไฟสาธารณะ ค่าไฟฟ้า และจุดหมายปลายทาง รวมถึงการเลือกเส้นทางของยานพาหนะไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน สำหรับการขนส่งในภูมิภาคและเครือข่ายการขนส่งกำลังด้วยยานพาหนะไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน รอบการสร้างแบบจำลองนี้ใช้เพื่อกำหนดจำนวนสถานีชาร์จสาธารณะที่เหมาะสมในเขตปริมณฑลในภูมิภาค เพื่อเพิ่มสวัสดิการสังคมที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายแบบคู่ รูปแบบในการจัดสรรถูกกำหนดเป็น โปรแกรมทางคณิตศาสตร์ที่มีข้อจำกัดและจะถูกแก้ไขได้ด้วย Active-set algorithm ตัวอย่างเชิงตัวเลขถูกนำเสนอเพื่อแสดงให้เห็นถึงแบบจำลองและนำเสนอข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับความสมดุลของเครือข่ายการขนส่งและเครือข่ายการขนส่งกำลังควบคู่ไปกับการจัดสรรทรัพยากรสำหรับ โครงสร้างพื้นฐานของการชาร์จสาธารณะได้อย่างเหมาะสม

Miralinaghi et al. (2017) ได้ศึกษาปัญหาตำแหน่งที่ตั้งสถานีเติมเชื้อเพลิงที่มีความเบี่ยงเบนของการจราจรเมื่อพิจารณาตัวเลือกเส้นทางและความต้องการที่ไม่แน่นอน การศึกษานี้มีเป้าหมายคือการลดผลรวมของต้นทุนการก่อสร้าง ระยะเวลารวมในการเดินทางของระบบทั้งหมด รวมถึงความล่าช้าในการเติมเชื้อเพลิง การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งของสถานีเติมเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะที่ใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจน โดยมีประเด็นที่ให้ความสนใจ ได้แก่ ความต้องการที่ไม่แน่นอน และพฤติกรรมทางเลือกเส้นทางของผู้ขับขี่ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแบบจำลองสองแบบ คือ Robust centralized planning model (RCPM) และ Bi-level centralized planning model (BLCPM) เพื่อรองรับทั้งสองประเด็นนี้ตามลำดับ ในส่วนของแบบจำลอง RCPM ได้กำหนดปัญหานี้เป็นแบบ Min-max-min program ซึ่งเป็น Mixed-integer nonlinear program (MINLP) โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลัก คือ ต้นทุนรวมน้อยที่สุด และได้ใช้

Cutting plane algorithm ในการแก้ปัญหา และในส่วนของแบบจำลอง BLCPM เป็น MINLP และมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือต้นทุนรวมน้อยที่สุดเช่นเดียวกัน โดยต้นทุนรวมจะหมายถึง ต้นทุนจากเวลาเดินทางทั้งหมดของระบบ ต้นทุนจากการล่าช้าที่สถานีเดิมเชื่อเพลิง และต้นทุนการก่อสร้างของสถานีที่ถูกเลือก ในส่วนของแบบจำลอง BLCPM นี้ได้ใช้ Genetic algorithm ในการแก้ปัญหา

- งานวิจัยค้นหาจุดที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับสถานีเดิมเชื่อเพลิงพลังงานทางเลือกโดยพิจารณาสถานีชาร์จไฟฟ้าสองแบบ คือ สถานีชาร์จไฟฟ้าแบบเร็ว และสถานีชาร์จไฟฟ้าแบบช้า (Fast and slow charging station)

Huang et al. (2016) ได้ศึกษาแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการชาร์จไฟฟ้าสองแบบ คือ การชาร์จไฟฟ้าแบบเร็วและช้า ซึ่งมีวัตถุประสงค์ให้ลดต้นทุนโดยรวมน้อยที่สุด แต่ยังคงครอบคลุมปริมาณความต้องการชาร์จไฟฟ้า แทนที่จะใช้จุดที่ตั้ง งานวิจัยนี้ได้เสนอการใช้รูปทรงเรขาคณิตเพื่อแสดงความต้องการการชาร์จไฟฟ้า และเพื่อไม่ให้มีช่องว่างระหว่างรูปทรงเรขาคณิตผู้วิจัยจึงได้พัฒนาวิธีการซ้อนทับรูปหลายเหลี่ยมเพื่อแยกความต้องการในเครือข่ายถนนและได้นำแบบจำลองไปใช้กับ โทรอนโต และ รัฐออนแทรีโอ ในแคนาดา

Jiao et al. (2017) ได้เสนอแบบจำลอง Mixed Integer Programming (MIP) เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่ใช้บริการสถานีชาร์จไฟฟ้า นอกจากนี้ยังแก้ไขปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งด้วยการจัดสรรเสาชาร์จสองประเภทเพื่อตอบสนองความต้องการที่แตกต่างกัน (เช่น โหมตการชาร์จเร็วตอบสนองความต้องการเช่าเร่งด่วน) และได้ทำการศึกษาเชิงตัวเลขโดยรวมข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในปฏิกิริยา และตัวแปรตัดสินใจสำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง

- งานวิจัยค้นหาจุดที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับสถานีเดิมเชื่อเพลิงพลังงานทางเลือกโดยพิจารณาช่วงการขับขี่ของยานพาหนะ (Vehicles range)

Lee et al. (2014) ได้พัฒนาแบบจำลองการหาจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จไฟฟ้าแบบเร็วสำหรับยานพาหนะไฟฟ้า (EV) ในเขตเมือง โดยพิจารณาจากสถานะการชาร์จแบตเตอรี่ และพฤติกรรมการชาร์จและการเดินทางของผู้ใช้ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง คือ ระยะทางการเดินทางที่สั้นเหลวน้อยที่สุด และระยะเวลาการเดินทางทั้งหมดของเครือข่ายน้อยที่สุด เมื่อการไหลของเครือข่ายมาจากสมดุลของผู้เดินทาง (User equilibrium: UE) ช่วงการขับขี่จากเชื่อเพลิงที่เหลืออยู่ที่ไหนคั่นทางนั้นจะถูกพิจารณาตามการกระจายความน่าจะเป็นเพื่อสะท้อนพฤติกรรมการชาร์จของผู้ใช้ ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลองสามารถระบุตำแหน่งสถานีชาร์จไฟฟ้าโดยใช้ฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็นสำหรับช่วงการขับขี่จากเชื่อเพลิงที่เหลืออยู่ที่ไหนคั่นทาง และมีแนวโน้มที่จะสะท้อนสภาพการจราจรที่คับคั่งในเขตเมือง ทำให้หลีกเลี่ยงการตั้งสถานีชาร์จที่อาจทำให้เกิดการจราจรติดขัดมากขึ้น

Kang et al. (2015) ได้เสนอแบบจำลองในกรณีศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่และเครือข่ายที่ตั้งสถานีชาร์จไฟฟ้ากระแสตรงแบบรวดเร็วในรัฐมิชิแกน โดยได้ศึกษาทั้งด้านการตลาด ด้านวิศวกรรมคือแบตเตอรี่และต้นทุนการผลิตยานยนต์ไฟฟ้า และด้านการดำเนินงานคือเครือข่ายที่ตั้งสถานีชาร์จไฟฟ้า

- งานวิจัยค้นหาจุดที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับสถานีเติมเชื้อเพลิงพลังงานทางเลือกโดยพิจารณาช่วงการขับขี่ยานพาหนะหลายช่วง (Multiple-class)

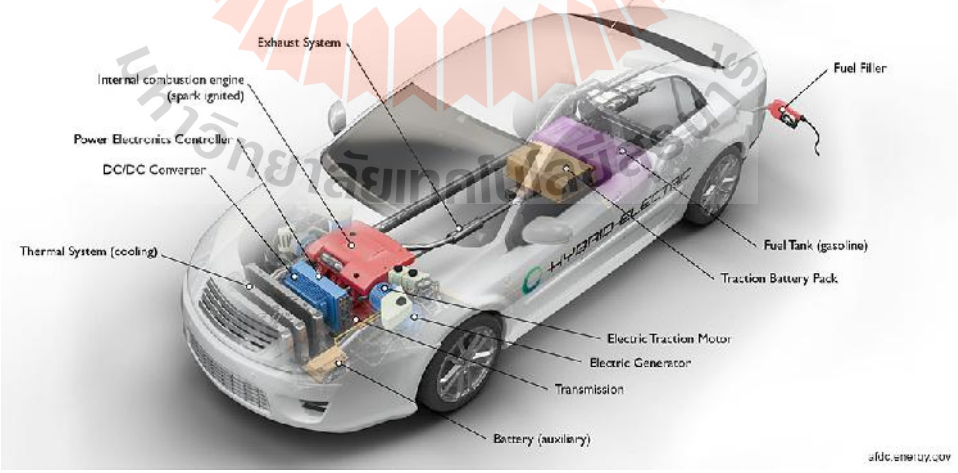
Lim and Kuby (2010) ได้ศึกษาเรื่อง Heuristic algorithms สำหรับเลือกตำแหน่งที่ตั้งสถานีเชื้อเพลิงทดแทนโดยใช้แบบจำลอง Flow-refueling location model (FRLM) การศึกษานี้ได้นำเสนออัลกอริทึมแบบฮิวริสติก (Heuristic algorithms) สามแบบเพื่อแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับตั้งสถานีเติมเชื้อเพลิงทดแทน เช่น ไฮโดรเจน เอทานอล ไบโอดีเซล ก๊าซธรรมชาติ หรือไฟฟ้า ซึ่งได้ใช้แบบจำลอง FRLM ในการหาตำแหน่งที่ตั้งสถานีเติมเชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มการไหลเวียนความสามารถในการเติมเชื้อเพลิงสูงที่สุด ด้วยจำนวนที่กำหนดไว้แบบจำลอง FRLM ซึ่งเป็นแบบ Mixed-integer linear programming (MILP) ได้ใช้ข้อจำกัดของความต้องการบนพื้นฐานของเส้นทาง (Path-based demands) และข้อจำกัดของช่วงการขับขี่ต่อการเติมเชื้อเพลิงหนึ่งครั้ง ดังนั้นเส้นทางที่ยาวกว่าช่วงการขับขี่จะต้องมีผลรวมของสถานีเติมเชื้อเพลิงมากกว่าหนึ่งแห่งเพื่อเติมเชื้อเพลิงให้เพียงพอสำหรับการเดินทางไปกลับ ในการศึกษานี้ได้มีการพัฒนาและประยุกต์ใช้อัลกอริทึมแบบฮิวริสติกสามแบบคือ (1) Greedy-adding (2) Greedy-adding with substitution และ (3) Genetic algorithms เพื่อแก้ปัญหาแบบจำลอง FRLM โดยวัตถุประสงค์ของการศึกษาอัลกอริทึมฮิวริสติกถูกนำไปประยุกต์ใช้ในกรณีศึกษาการค้นหาค่าตำแหน่งที่ตั้งสถานีเติมเชื้อเพลิงไฮโดรเจนในรัฐฟลอริดา สหรัฐอเมริกา

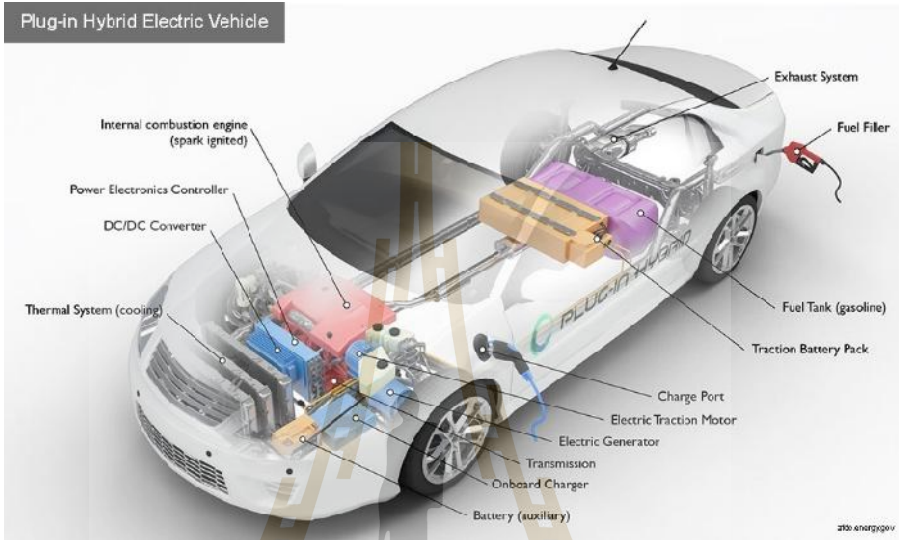
Hwang et al. (2015) ได้ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบใหม่สำหรับการกำหนดตำแหน่งสถานีเติมเชื้อเพลิงพลังงานทางเลือก บนเครือข่ายการขนส่งแบบ Direct โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของปริมาณการไหลของเส้นทาง แบบจำลองนี้ได้รับการออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานบนถนนที่เก็บค่าผ่านทางและทางหลวงสายอื่น ๆ ซึ่งยานพาหนะไม่จำเป็นต้องออกจากเครือข่ายถนนเพื่อเติมน้ำมันสถานี และที่ตั้งสถานีบางแห่งอาจเข้าถึงได้เฉพาะยานพาหนะที่อยู่ทางฝั่งถนนเดียวกัน รูปแบบที่นำเสนอนี้ถูกนำไปใช้กับเครือข่ายถนนที่เก็บค่าธรรมเนียมใช้ทาง Pennsylvania Turnpike system โดยใช้ข้อมูลการจราจรของรถบรรทุก 2011 และพิจารณาช่วงการขับขี่รถยนต์ที่แตกต่างกัน

Hwang et al. (2017) ได้ศึกษาเครือข่ายการขนส่งยานพาหนะหลายระดับซึ่งยานพาหนะมีช่วงการขับขี่และระดับถังน้ำมันที่แตกต่างกันในโหนดต้นทางและปลายทาง และ

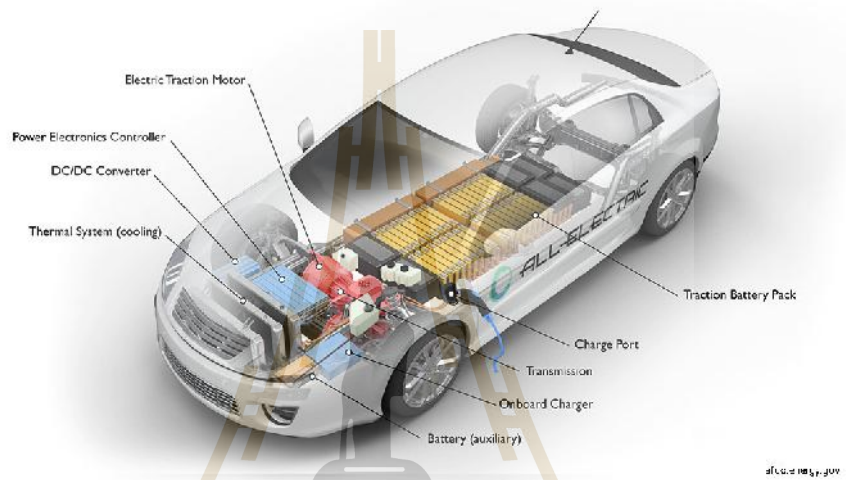
เสนอแบบจำลองเชิงเส้นแบบ 0-1 เพื่อหาจำนวนสถานีเติมเชื้อเพลิงพลังงานทางเลือก โดยให้ครอบคลุมการไหลของการจราจรทั้งหมดมากที่สุด (ในการเดินทางรอบต่อหน่วยเวลา) โดยนำไปศึกษาหาเครือข่ายสถานีเติมเชื้อเพลิงพลังงานทางเลือกจากข้อมูลการจราจรบรรทุกขนาดกลางและขนาดใหญ่ประจำปี 2554 ของเครือข่ายถนนที่เก็บค่าธรรมเนียมใช้ทาง Pennsylvania Turnpike งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเลือกจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าซึ่งพิจารณาปัจจัยด้านขนาดความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ไม่เท่ากันสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละรุ่น (Multi-class vehicles) เนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้ามีข้อจำกัดด้านขนาดแบตเตอรี่ที่ไม่เท่ากัน ทำให้มีช่วงการขับขี่รถยนต์ไฟฟ้าที่หลากหลาย และสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจะต้องมีรองรับให้ใช้บริการครอบคลุมตลอดทั้งเส้นทางหลวงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ทำการศึกษา กำหนดให้ไม่มีสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าอื่น ๆ ในปัจจุบัน ซึ่งงานวิจัยนี้แตกต่างจากงานวิจัยของ Lim and Kuby (2010) Hwang et al. (2015) และ Hwang et al. (2017) ที่พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Flow refueling location ในการหาจุดที่ตั้งของสถานีเติมเชื้อเพลิงพลังงานทางเลือก งานวิจัยนี้ได้พัฒนาขั้นตอนวิธีทางคณิตศาสตร์แบบ ฮิวริสติกส์ โดยการกำหนดจุดที่ตั้งที่สามารถตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าไว้ก่อน แต่ไม่ได้กำหนดจำนวนสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า แล้วจึงหาจุดที่ตั้งที่เหมาะสมโดยมีวัตถุประสงค์ คือ เลือกจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสม และจำนวนจุดที่ตั้งน้อยที่สุดเพื่อการลงทุน โดยสามารถครอบคลุมรถยนต์ไฟฟ้าทุกช่วงการขับขี่ต่อการชาร์จไฟแบตเตอรี่

Hybrid Electric Vehicle





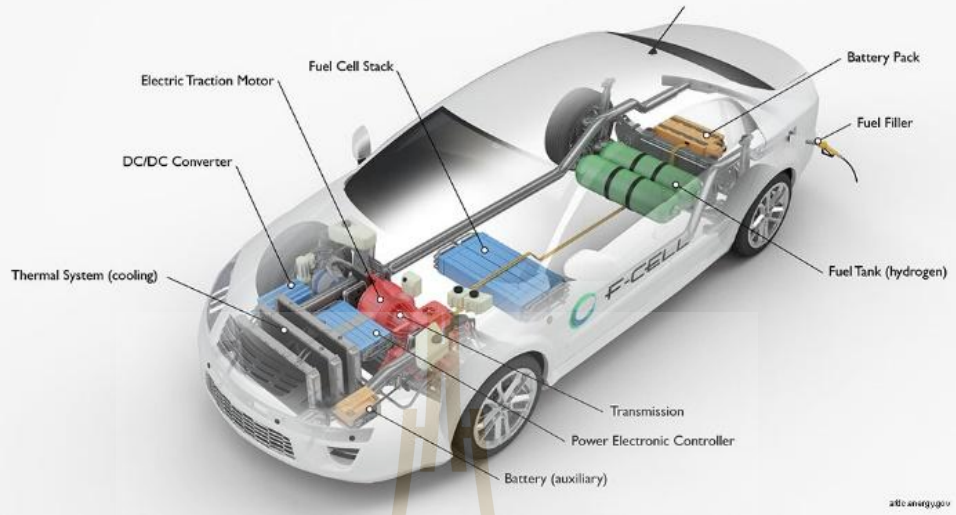
All-Electric Vehicle

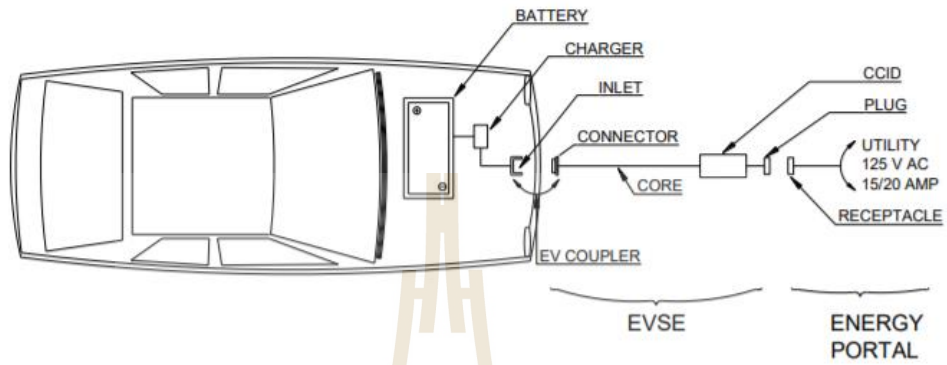


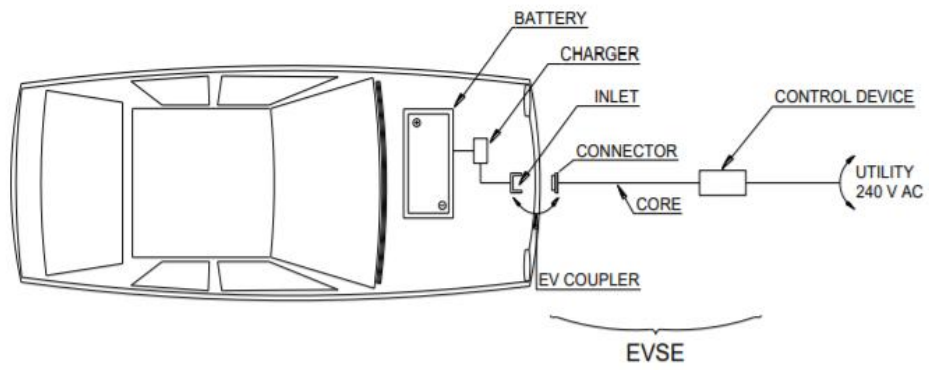
dlc.ve.mtu.gov

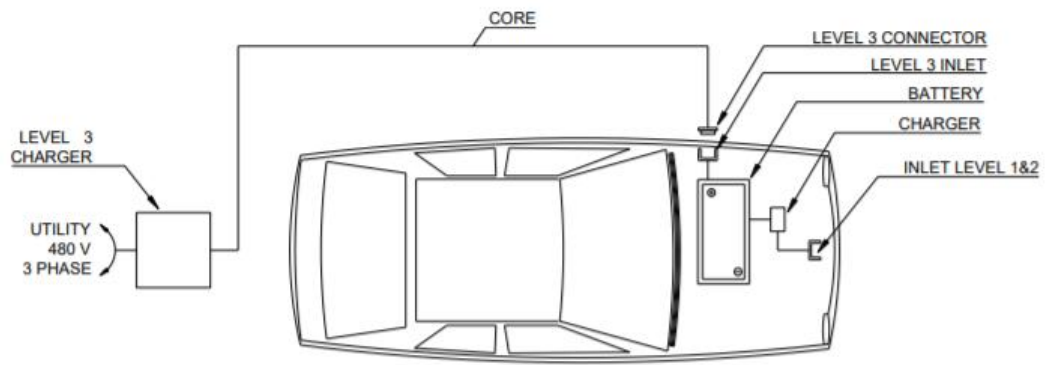


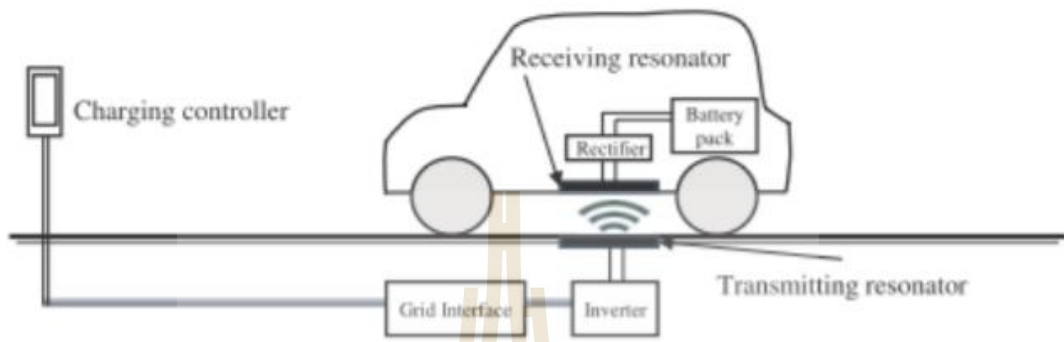
Hydrogen Fuel Cell Vehicle











Power control system (PCS) จะมีรายละเอียดที่แตกต่างกันไป ระบบนี้มีความสามารถในการตัดสินใจว่า การใช้ไฟฟ้าในบ้าน ควรใช้จากแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าหรือระบบสายส่ง จะทำการประเมินและตัดสินใจว่าการประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้านั้น นำมาจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์หรือระบบสายส่ง นอกจากนี้ ระบบ V2G และ V2H ยังช่วยให้ระบบพลังงานในท้องถิ่นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการนำกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เข้าเสริมระบบแหล่งพลังงานทดแทนในท้องถิ่น เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา และกังหันลม

2.5 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม

ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม (Facility location problem) หรือปัญหา FLP โดย Owen, S. H. and M. S. Daskin (1998)

การเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมเป็นการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ที่สำคัญอย่างยิ่งขององค์กรทุกประเภท บางครั้งองค์กรต้องเผชิญกับการตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่ตั้ง เช่น เมื่อองค์กรต้องการจะขยายสาขาใหม่ ศูนย์บริการ ร้านค้าปลีก จุดรับซื้อ คลังสินค้า เป็นต้น ความท้าทายของปัญหานี้คือจะต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับบริเวณพื้นที่ที่แตกต่างกัน เช่น ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม สิ่งอำนวยความสะดวก การขนส่ง จำนวนประชากร แนวโน้มตลาดหรือความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย และการเลือกตำแหน่งที่ตั้งก็มีค่าใช้จ่ายสูง และใช้เวลานาน โดยทั่วไปปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม จะเป็นการกำหนดจำนวน ขนาด และตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนน้อยที่สุด ระยะทางหรือระยะเวลาในการเดินทางน้อยที่สุด หรือครอบคลุมความต้องการให้มากที่สุด โดยมีแบบจำลองของปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมหลายรูปแบบ ยกตัวอย่างเช่น

2.5.1 Static and deterministic location problems

เป็นปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม โดยพิจารณา ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ที่ทำการตัดสินใจ และพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ความต้องการ ระยะทาง ต้นทุน เป็นต้น ซึ่งเป็นค่าที่ทราบค่าแน่นอนและมีค่าคงที่ ปัญหานี้เป็นปัญหาพื้นฐานที่จะถูกนำไปขยายผลต่อไป

- Median problems

วิธีหนึ่งในการวัดประสิทธิผลของสถานที่ตั้งคือการกำหนดระยะทางโดยเฉลี่ยในการเดินทาง หรือระยะเวลาในการเดินทาง ที่เป็นตัวแทนของค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง เมื่อระยะทางที่เดินทางโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นการเข้าถึงสถานที่ที่มีประสิทธิผล

ลดลง ความสัมพันธ์นี้เหมาะสำหรับสิ่งอำนวยความสะดวก เช่น ห้องสมุดโรงเรียน และ ศูนย์บริการลูกค้า

การค้นหาค่าแห่งของ P เพื่อลดระยะทางในการเดินทางถ่วงน้ำหนักความต้องการโดยรวมระหว่างความต้องการและสถานที่ตั้ง มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

สัญกรณ์:

i	=	ดัชนีของโหนดความต้องการ
j	=	ดัชนีของตำแหน่งที่ตั้ง
h_i	=	ความต้องการที่โหนด i
d_{ij}	=	ระยะห่างระหว่างโหนดความต้องการ i และตำแหน่งที่ตั้ง j
P	=	จำนวนตำแหน่งที่จะตั้ง

ตัวแปรตัดสินใจ:

X_j	=	$\begin{cases} 1 & \text{ถ้าเลือกตั้งที่ตำแหน่งที่ตั้ง } j \\ 0 & \text{ถ้าไม่ใช่} \end{cases}$
Y_{ij}	=	$\begin{cases} 1 & \text{ถ้าโหนดความต้องการ } i \text{ ได้รับโดยตำแหน่งที่ตั้ง } j \\ 0 & \text{ถ้าไม่ใช่} \end{cases}$

ปัญหา P-median สามารถเขียนสมการเป็น Integer linear program ดังนี้:

$$\text{Minimize } \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (2-1)$$

$$\text{subject to: } \sum_j X_j = P \quad (2-2)$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i, j \quad (2-3)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall j \quad (2-4)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (2-5)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \quad (2-6)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (2-1) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ ระยะทางในการเดินทางถ่วงน้ำหนักความต้องการโดยรวมระหว่างความต้องการและสถานที่ตั้งน้อยที่สุด สมการข้อจำกัด (2-2)

กำหนดให้จำนวนที่จะต้องเท่ากับ P สมการข้อจำกัด (2-3) ทำให้มั่นใจได้ว่ามีความต้องการได้ ถูกการกำหนดไว้ที่ตำแหน่งบางแห่ง ในขณะที่สมการข้อจำกัด (2-4) อนุญาตให้มีการกำหนดความต้องการเฉพาะกับตำแหน่งที่เลือกจะตั้ง สมการข้อจำกัด (2-5) และ (2-6) เป็นข้อกำหนดตัวแปร binary สำหรับปัญหาที่ ปกติแล้วความต้องการจะถูกกำหนดไว้ที่ตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดในปัญหาที่ไม่มีข้อขัดขวางอื่นนี้ (สมมติ $h_i d_{ij} = 0 \forall i, j$) แล้วสมการข้อจำกัด (2-6) สามารถผ่อนผันให้เป็นค่าไม่ติดลบได้ ($X_{ij} \geq 0$)

- Covering problems

เพื่อค้นหาสถานที่ตั้งในประเด็นของความครอบคลุมความต้องการ ความต้องการจะถูกครอบคลุมหากสามารถให้บริการได้ภายในเวลาที่กำหนด ปัญหาครอบคลุมความต้องการแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ Location set covering problem และ Maximal covering problem

Location set covering problem มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนของตำแหน่งที่ตั้งที่ระดับระดับของความครอบคลุมที่จะได้รับ โดยมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

สัญกรณ์:

$$\begin{aligned}
 c_j &= \text{ต้นทุนคงที่ของตำแหน่งที่ตั้ง } j \\
 S &= \text{ระยะทาง (หรือเวลา) ที่ยอมรับได้สูงสุด} \\
 N_i &= \text{เซตของตำแหน่งที่ตั้ง } j \text{ ที่อยู่ในระยะทางที่ยอมรับได้ของโหนด } i \\
 &\quad (\text{นั่นคือ } N_i = \{j | d_{ij} \leq S\})
 \end{aligned}$$

ปัญหา set covering สามารถเขียนสมการเป็น Integer program ดังนี้:

$$\text{Minimize} \quad \sum_j c_j X_j \quad (2-7)$$

$$\text{subject to:} \quad \sum_{j \in N_i} X_j \geq 1 \quad \forall i \quad (2-8)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (2-9)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (2-7) ค่าใช้จ่ายของตำแหน่งที่ตั้งน้อยที่สุด ในหลายกรณี ค่าใช้จ่าย c_j จะสมมติว่าเท่ากันสำหรับตำแหน่งที่ตั้ง j ทั้งหมด นั่นหมายถึงวัตถุประสงค์จะเทียบเท่ากับการลดจำนวนสถานที่ตั้ง สมการข้อจำกัด (2-8) กำหนดว่าความต้องการทั้งหมดที่ i มี

อย่างน้อยหนึ่งแห่งที่อยู่ในระยะทางที่ยอมรับได้ สมการข้อจำกัด (2-9) เป็นข้อจำกัดของตัวแปรตัดสินใจ

Maximal covering problem มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณความต้องการที่ถูกรอบคลุมในระยะทางที่ยอมรับได้ของบริการ S โดยระบุจำนวนตำแหน่งที่ตั้งไว้ โดยมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

ตัวแปรตัดสินใจ:

$$Z_i = \begin{cases} 1 & \text{โหนด } i \text{ ถูกรอบคลุม} \\ 0 & \text{ถ้าไม่ใช่} \end{cases}$$

รวมตัวแปรเหล่านี้กับตัวแปรข้างต้น ปัญหา maximal covering สามารถเขียนสมการได้ดังนี้:

$$\text{Maximize} \quad \sum_i h_i Z_i \quad (2-10)$$

$$\text{subject to:} \quad \sum_{j \in N_i} X_j \geq Z_i \quad (2-11)$$

$$\sum_j X_j = P \quad (2-12)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (2-13)$$

$$Z_i \in \{0,1\} \quad \forall i \quad (2-14)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (2-10) คือปริมาณของความต้องการครอบคลุมสูงสุด สมการข้อจำกัด (2-11) กำหนดโหนดความต้องการอยู่ในระยะทางที่ยอมรับได้ สมการข้อจำกัด (2-12) จำกัดจำนวนของตำแหน่งที่ตั้งที่จะถูกเลือก และสมการ (2-13) และ (2-14) เป็นข้อจำกัดของตัวแปรตัดสินใจ

- Center problems

ในปัญหานี้ ต้องการครอบคลุมความต้องการทั้งหมด แต่ต้องหาจำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่กำหนดไว้เพื่อลดระยะทางครอบคลุม แทนที่จะใช้ระยะทางครอบคลุม S แบบจำลองนี้จะกำหนดระยะทางครอบคลุมน้อยที่สุดในการหาตำแหน่งที่ตั้ง P โดยมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

ลักษณะ:

D = ระยะทางสูงสุดระหว่างโหนดความต้องการกับตำแหน่งที่ตั้งที่ไกลที่สุด

ปัญหา P-center สามารถเขียนสมการแบบ Integer programming ดังนี้:

$$\text{Minimize } D \quad (2-15)$$

$$\text{subject to: } \sum_j X_j = P \quad (2-16)$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (2-17)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j \quad (2-18)$$

$$D - \sum_j d_{ij} Y_{ij} \leq 0 \quad \forall i \quad (2-19)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (2-20)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \quad (2-21)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (2-15) เป็นลดระยะทางสูงสุดระหว่างโหนดความต้องการและตำแหน่งที่ตั้งที่ไกลที่สุด สมการข้อจำกัด (2-16), (2-17) และ (2-18) เหมือนกันกับสมการ (2-2), (2-3) และ (2-4) ของปัญหา P-median สมการข้อจำกัด (2-19) กำหนดระยะห่างสูงสุดระหว่างโหนดความต้องการใด ๆ i กับตำแหน่งที่ตั้งที่ไกลที่สุด j สุดท้ายสมการข้อจำกัด (2-20) และ (2-21) เป็นข้อจำกัดของตัวแปรตัดสินใจ

2.5.2 Dynamic location problems

งานวิจัยส่วนใหญ่มักจะนำทฤษฎีและแบบจำลองที่กล่าวมาข้างต้นไปใช้ในงานวิจัยอื่นๆ แม้ว่าทฤษฎีและแบบจำลองจะทำไปใช้ได้เหมาะสม เนื่องจากการลงทุนที่กำหนดตำแหน่งสถานที่ตั้งหรือย้ายสถานที่ที่มีขนาดใหญ่และสิ่งต่าง ๆ คาดว่ายังสามารถใช้งานต่อไปได้เป็นระยะเวลานาน ดังนั้นปัญหาของตำแหน่งสถานที่ตั้งแท้จริงเกี่ยวข้องกับการวางแผนขยายวงกว้าง ผู้ตัดสินใจต้องไม่เพียงแต่เลือกตำแหน่งที่ตั้งที่มีประสิทธิภาพตอบสนอง

ความต้องการที่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลาเท่านั้น แต่ต้องคำนึงถึงระยะเวลาของการขยายและการย้ายตำแหน่งสถานที่ตั้งในระยะยาว

- Alternative dynamic approaches

มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

สัญกรณ์:

d_{ijt} = ระยะทางหรือเวลาที่สั้นที่สุดจากโหนด i ไปยังโหนด j ในช่วงเวลา t

N_{it} = $\{j | d_{ijt} \leq S\}$ = เซตของตำแหน่งที่ตั้งที่สามารถครอบคลุมโหนด i ในช่วงเวลา t

h_{it} = น้ำหนักความต้องการที่โหนด i ในช่วงเวลา t

P_t = จำนวนตำแหน่งสถานที่ตั้ง ในช่วงเวลา t

ตัวแปรตัดสินใจ:

X_{jt} = $\begin{cases} 1 & \text{ถ้าเลือกตั้งที่ตำแหน่งที่ตั้ง } j \text{ ในช่วงเวลา } t \\ 0 & \text{ถ้าไม่ใช่} \end{cases}$

Y_{it} = $\begin{cases} 1 & \text{ถ้าโหนดความต้องการ } i \text{ ถูกครอบคลุม ในช่วงเวลา } t \\ 0 & \text{ถ้าไม่ใช่} \end{cases}$

กำหนดรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้:

$$\text{Maximize} \quad \sum_i h_{it} Y_{it} \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (2-22)$$

$$\text{subject to:} \quad \sum_{j \in N_{it}} X_{jt} \geq Y_{it} \quad \forall i, t \quad (2-23)$$

$$\sum_j X_{jt} = P_t \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (2-24)$$

$$X_{jt} \leq X_{j,t-1} \quad \forall j, t = 2, \dots, T \quad (2-25)$$

$$X_{jt} \in \{0,1\} \quad \forall j, t = 1, \dots, T \quad (2-26)$$

$$Y_{it} \in \{0,1\} \quad \forall i, t = 1, \dots, T \quad (2-27)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (2-22) เป็นเวกเตอร์ของ T แต่ละเวลา ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะไม่ซ้ำกัน แบบจำลองสมมติในสมการ (2-25) คือเมื่อตำแหน่งที่ตั้งสถานที่ที่ถูกเปิดแล้วก็ยังเปิดสำหรับช่วงเวลาต่อไปทั้งหมด

2.5.3 Stochastic location problems

เป็นปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งโดยพิจารณาปัจจัยที่เป็นค่าไม่แน่นอน สามารถอธิบายได้ด้วยความน่าจะเป็น โดยขยายผลจากปัญหาใน Static and deterministic location problems และปัญหาที่ถูกพัฒนาขึ้นในรูปแบบที่แตกต่างออกไป เพื่อให้ใกล้เคียงปัญหาในความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

- Scenario planning models

ปัญหา P-median ตามแนวทางการวางแผนสถานการณ์ มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

สัญกรณ์:

k = คำนีของสถานการณ์ที่เป็นไปได้

h_{ik} = ความต้องการของโหนด i ภายใต้สถานการณ์ k

d_{ijk} = ระยะทางระหว่างโหนด i ถึงตำแหน่งที่ตั้ง j ภายใต้สถานการณ์

k

V_k = ค่า P-median ที่เหมาะสมสำหรับสถานการณ์ k

ตัวแปรตัดสินใจ:

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าเลือกตั้งที่ตำแหน่งที่ตั้ง } j \\ 0 & \text{ถ้าไม่ใช่} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าโหนดความต้องการ } i \text{ ถูกกำหนดโดยตำแหน่งที่ตั้ง } j \text{ ภายใต้สถานการณ์ } k \\ 0 & \text{ถ้าไม่ใช่} \end{cases}$$

ความสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ k ถูกกำหนดด้วย $R_k = V_k - \widehat{V}_k$ โดยที่ V_k ความต้องการถ่วงน้ำหนักระยะทางรวมภายใต้ตำแหน่งพื้นที่ที่ยอมรับ ($V_k = \sum_i \sum_j h_{ik} d_{ijk} Y_{ijk}$) สามารถเขียนสมการของความสูญเสียที่คาดว่าจะเกิดขึ้นได้ดังนี้:

$$\text{Minimize} \quad \sum_k q_k R_k \quad (2-28)$$

$$\text{subject to:} \quad \sum_j X_j = P \quad (2-29)$$

$${}_j Y_{ijk} = 1 \quad \forall i,k \quad (2-30)$$

$$Y_{ijk} - X_j \leq 0 \quad \forall i,j,k \quad (2-31)$$

$$R_k - \left(\sum_i \sum_j h_{ik} d_{ijk} Y_{ijk} - \widehat{V}_k \right) = 0 \quad \forall k \quad (2-32)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (2-33)$$

$$Y_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \quad (2-34)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (2-28) คือความสูญเสียที่คาดไว้น้อยที่สุด โดยความสูญเสียถูกกำหนดไว้ในสมการข้อจำกัด (2-32)

โดยทั่วไปแล้วปัญหาปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเกือบทุกประเภท จัดเป็นปัญหาเอ็นพีแบบยาก (NP-hard) (Snyder, L.V., 2006) ดังนั้นการพัฒนาวิธีแก้ปัญหาก็แบ่งออกเป็นสองรูปแบบ คือ การพัฒนาวิธีแบบฮิวริสติกส์ (Heuristic method) ซึ่งใช้ระยะเวลาในการคำนวณน้อยกว่า แต่ให้คุณภาพของคำตอบน้อยกว่าวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact algorithm) และ การพัฒนาวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่มีคุณลักษณะเฉพาะเจาะจง (Specific problems) ซึ่งให้คำตอบที่ดีที่สุด (Optimal solution) งานวิจัยส่วนใหญ่เป็นการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหในรูปแบบแรก มีงานวิจัยจำนวนน้อยมากที่จะพัฒนาวิธีการแก้ปัญหในรูปแบบที่สอง เนื่องจากความยากและความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์ของปัญหา วิธีการแก้ปัญหในรูปแบบแรกต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของคำตอบ โดยเทียบกับคำตอบของวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดจึงมีความสำคัญที่ควรศึกษาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ (จันทร์ศิริสิงห์เถื่อน, 2554)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเลือกจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าซึ่งพิจารณาปัจจัยด้านขนาด ความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ไม่เท่ากันสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละรุ่น (Multi-class vehicles) โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือการกำหนดจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่น้อยที่สุด เมื่อขับรถไปกลับจากโหนดต้นทาง (i) ไปยังโหนดปลายทาง (j) กำหนดให้ d_{ij} คือระยะห่างระหว่างโหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) และ R_p คือ ช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้ามีช่วงการขับขี่ที่จำกัด โดยที่ p คือ จำนวนช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน และ m คือ จำนวนโหนดที่พิจารณา กำหนดให้ในปัจจุบันไม่มีสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าอื่น ๆ บนทางหลวงทุกสายที่ได้ศึกษา และเลือกจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อการลงทุน โดยสามารถครอบคลุมรถยนต์ไฟฟ้าทุกช่วงการขับขี่ต่อรอบการชาร์จไฟแบตเตอรี่

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 หาวิธีสั้นสุด (Shortest path) ของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j)

ขั้นตอนที่ 2 หาจำนวนจุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าระหว่างโหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) แต่ละคู่

ขั้นตอนที่ 3 หาทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดระหว่างโหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) แต่ละคู่

ขั้นตอนที่ 4 หาทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ให้ครบทุกช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าความถี่ของจุดที่ตั้งแต่ละจุดที่ถูกเลือกให้เป็นจุดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจากผลลัพธ์ในขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 6 หาผลรวมค่าความถี่ของแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) และแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)

ขั้นตอนที่ 7 เลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดของแต่ละคูโหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) และแต่ละช่วงการจับจีของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)

โดยในขั้นตอนที่ 1 ได้โปรแกรม Solver ใน Microsoft excel ในการคำนวณ ขั้นตอนที่ 2-4 ได้พัฒนาโปรแกรม MATLAB ในการหาแก้ปัญหา และในขั้นตอนที่ 5-7 ใช้ Visual basic for applications (VBA) ช่วยในการหาคำตอบ

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 การหาวิถีสั้นสุด (Shortest path)

วิถีสั้นสุดของโหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) หาได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ของปัญหาวิถีสั้นสุดที่พัฒนาโดย Ahuja et al. (1988) คือ พิจารณาเครือข่ายที่ประกอบด้วยโหนด และมีระยะทางหว่างโหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) คือ d_{ij} กำหนดให้

สัญกรณ์:

S = โหนดเริ่มต้น

T = โหนดสุดท้าย

ตัวแปรตัดสินใจ:

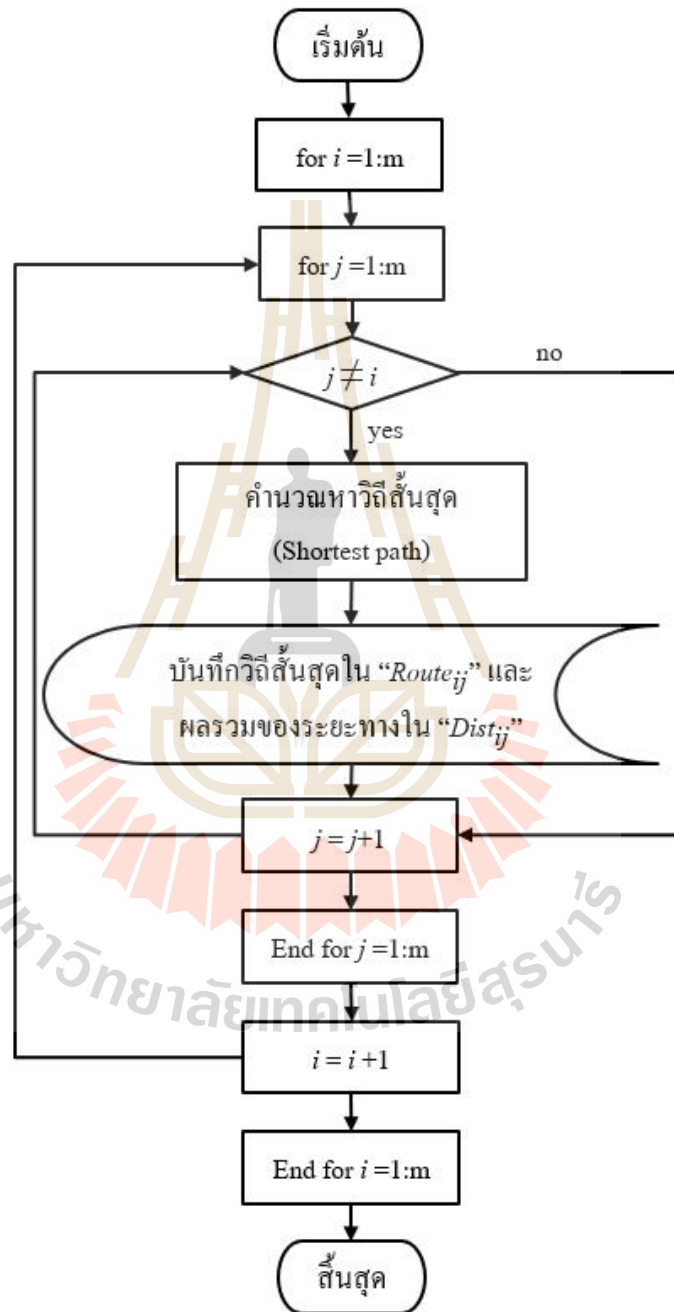
$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าเส้นทางระหว่างโหนด } i \text{ ไปโหนด } j \text{ คือวิถีสั้นสุด,} \\ 0 & \text{ถ้าไม่ใช่} \end{cases}$$

มีสมการทางคณิตศาสตร์ของปัญหาวิถีสั้นสุด ดังนี้:

$$\text{Minimize} \quad \sum_{ij} X_{ij} d_{ij} \quad (3-1)$$

$$\text{Subject to:} \quad \sum_j X_{ij} - \sum_j X_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{ถ้า } i = S; \\ -1, & \text{ถ้า } i = T; \\ 0, & \text{ถ้าไม่ใช่} \end{cases} \quad (3-2)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (3-1) คือ ผลรวมของระยะทางในเส้นทางทั้งหมดน้อยที่สุด ข้อจำกัด (3-2) กำหนดกระแสสุทธิ (กระแสไหลออก - กระแสไหลเข้า) ของแต่ละโหนด S ควรมีเส้นทางขาออกเพียงทางเดียว (กระแสสุทธิ = 1) โหนด T ควรมีเส้นทางขาเข้าทางเดียวเท่านั้น (กระแสสุทธิ = -1) โหนดอื่น ๆ ทั้งหมดควรมีเส้นทางขาออกหนึ่งทางและเส้นทางขาเข้าหนึ่งทาง เมื่อโหนดนั้นอยู่บนเส้นทางที่สั้นที่สุด (กระแสสุทธิ = 0) หรือไม่มีการไหล



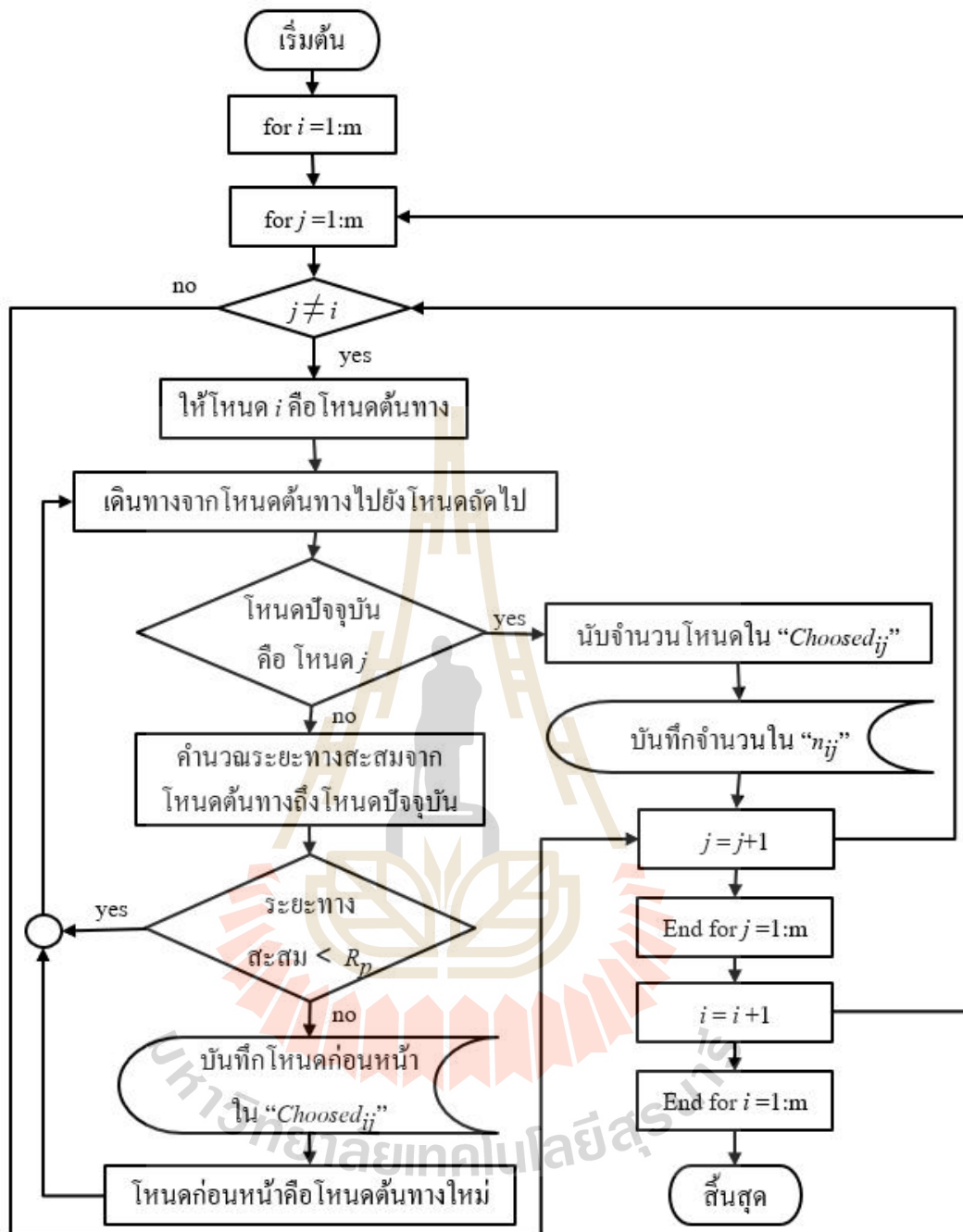
3.3.2 การหาจำนวนจุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

กำหนดให้รถยนต์ไฟฟ้าที่มีพลังไฟฟ้าเต็มแบตเตอรี่ที่โหนดต้นทาง (i) เดินทางจากโหนดต้นทาง (i) ไปยังโหนดถัดไปบนวิถีสั้นสุด ($Route_{ij}$) จากข้อที่ 3.3.1 แล้วพิจารณาระยะทางสะสมตั้งแต่โหนดต้นทาง (i) จนถึงโหนดปัจจุบัน

โดยหากระยะทางสะสมน้อยกว่าช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) ให้เดินทางต่อไปยังโหนดถัดไปบนวิถีสั้นสุด ($Route_{ij}$) แล้วพิจารณาระยะทางสะสมตั้งแต่โหนดต้นทาง (i) จนถึงโหนดปัจจุบันใหม่อีกครั้ง

หรือหากระยะทางสะสมมากกว่าช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) กำหนดให้โหนดก่อนหน้าที่ระยะทางสะสมจะมากกว่าช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า บันทึกค่าในตัวแปรอาร์เรย์ “ $Choosed_{ij}$ ” และกำหนดให้เป็นโหนดต้นทางใหม่ จากนั้นเดินทางไปยังจุดถัดไปบนวิถีสั้นสุด ($Route_{ij}$) แล้วพิจารณาระยะทางสะสมตั้งแต่โหนดต้นทางใหม่ จนถึงโหนดปัจจุบันใหม่อีกครั้ง

หรือหากโหนดปัจจุบันคือโหนดปลายทาง (j) ให้หยุดดำเนินการในขั้นตอนี้ แล้วนับจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า คือจำนวนค่าในตัวแปรอาร์เรย์ “ $Choosed_{ij}$ ” บันทึกค่าจำนวนโหนดในตัวแปรอาร์เรย์ “ n_{ij} ” เป็นค่าจำนวนจุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ผังงานแสดงขั้นตอนการหาจำนวนจุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 3.2



3.3.3 การหาทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด

การหาทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) โดยใช้จำนวนจุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (n_{ij}) เป็นตัวกำหนดมีขั้นตอนดังนี้

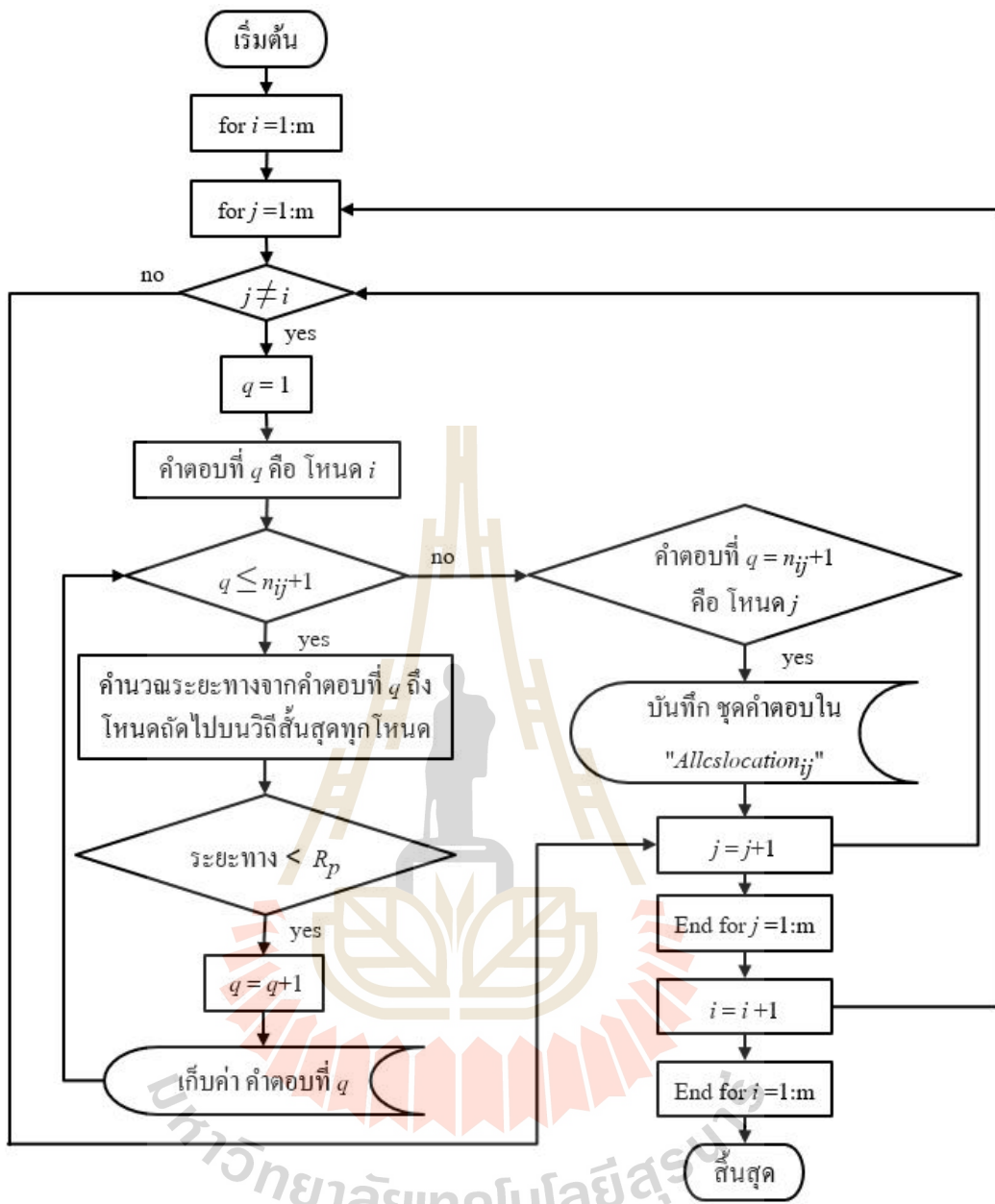
เริ่มต้นจากโหนดต้นทาง (i) กำหนดให้ $q = 1$

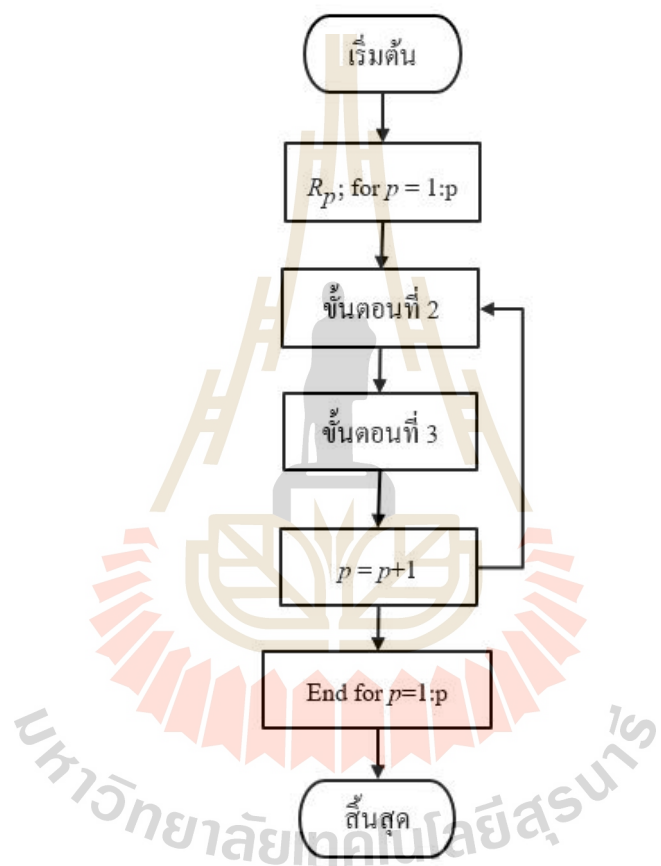
3.3.3.1 หาโหนดที่รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางไปถึงได้ทั้งหมดบนวิถีสั้นสุด ($Route_{ij}$) โดยระยะทางน้อยกว่าช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) แล้วบันทึกโหนดที่เป็นไปได้ทั้งหมดไว้

3.3.3.2 กำหนดให้คำตอบจากขั้นตอนที่ 3.3.3.1 แต่ละโหนดเป็นจุดเริ่มต้นใหม่ และให้ $q = q + 1$ และกลับไปขั้นตอนที่ 3.3.3.1

3.3.3.3 ดำเนินงานในขั้นตอนที่ 3.3.3.1 และ 3.3.3.2 จนซ้ำจนกระทั่งค่า $q = n_{ij} + 1$

3.3.3.4 บันทึกชุดคำตอบของโหนดที่ $q = n_{ij}$ มีระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางไปถึงโหนดปลายทาง (j) ได้ หรือโหนดที่ $q = n_{ij} + 1$ คือ โหนดปลายทาง (j) ในอาร์เรย์ " $Allslocation_{ij}$ " ชุดคำตอบเหล่านี้ถือว่าเป็นทางเลือกของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ผังงานแสดงขั้นตอนการหาทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด แสดงในรูปที่ 3.3

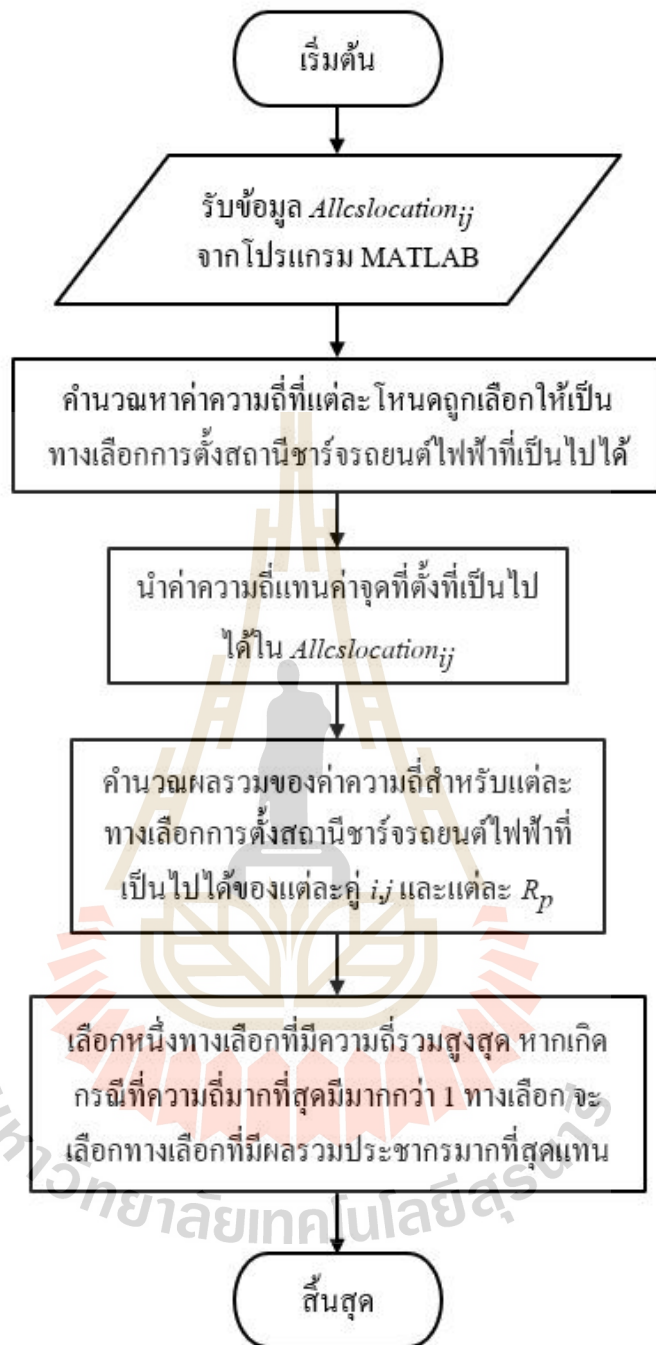




3.3.5 การหาความถี่ของจุดที่ตั้งแต่ละจุดที่ถูกเลือกให้เป็นจุดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า
จากทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($allcslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) จากขั้นตอนที่ 3.3.4 ทั้งหมด นำมาคำนวณหาค่าความถี่ของแต่ละโหนดที่ถูกเลือกให้เป็นทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้

3.3.6 การหาผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมด
นำความถี่ของแต่ละจุดที่ตั้งจากขั้นตอนที่ 3.3.5 ไปแทนค่าจุดที่ตั้งที่เป็นไปได้ในผลลัพธ์จากขั้นตอนที่ 3.3.4 แล้วหาผลรวมของค่าความถี่สำหรับแต่ละทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) และแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)

3.3.7 การเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุด
สำหรับทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากโหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ให้เลือกหนึ่งทางเลือกที่มีความถี่รวมสูงสุด ทางเลือกนี้ถือว่าถูกเลือกให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) หากเกิดกรณีที่ความถี่มากที่สุดมีมากกว่า 1 ทางเลือก จะใช้การเปรียบเทียบผลรวมจำนวนประชากรของทางเลือกที่มีความถี่มากที่สุดเหล่านั้น โดยจะเลือกทางเลือกที่มีผลรวมประชากรมากที่สุดเป็นจุดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าของคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) นั้น ๆ ฝั่งงานแสดงขั้นตอนการหาความถี่ของจุดที่ตั้งแต่ละจุดที่ถูกเลือกให้เป็นจุดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจนถึงขั้นตอนการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดแสดงในรูปที่ 3.5



บทที่ 4

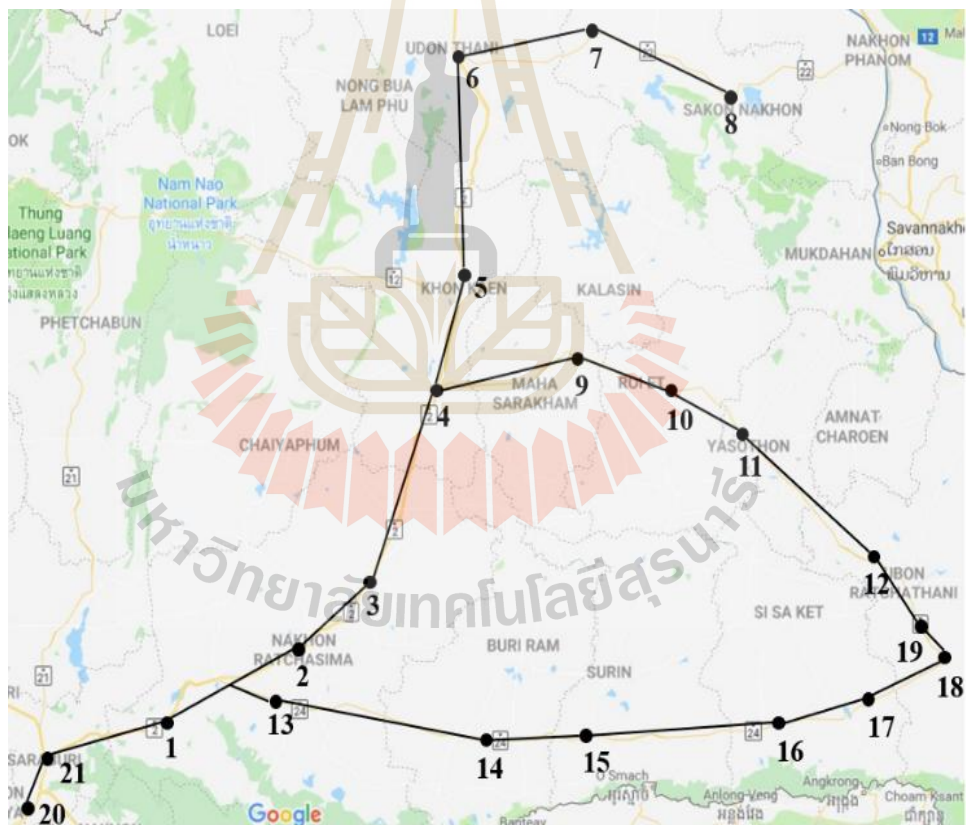
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

4.1 บทนำ

บทนี้จะนำเสนอการเลือกจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าซึ่งพิจารณาปัจจัยด้านขนาดความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ไม่เท่ากันสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละรุ่น (Multi-Class Vehicles) บนเส้นทางหลวงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งได้แก่ทางหลวงหมายเลข 1, 2, 22, 23 และ 24 โดยมีทั้งหมด 21 จุดที่เป็นไปได้ในการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า และพิจารณาปัจจัยด้านขนาดความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ไม่เท่ากันสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละรุ่น (Multi-Class Vehicles) โดยแบ่งช่วงการขับขี่ต่อรอบการชาร์จไฟแบตเตอรี่ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ รถยนต์ไฟฟ้าที่วิ่งได้ระยะทาง 120 กิโลเมตร รถยนต์ไฟฟ้าที่วิ่งได้ระยะทาง 200 กิโลเมตร และรถยนต์ไฟฟ้าที่วิ่งได้ระยะทาง 300 กิโลเมตร กำหนดให้ในปัจจุบันไม่มีสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าอื่น ๆ บนทางหลวงทุกสายที่ได้ศึกษา และเลือกจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสม และจำนวนน้อยที่สุดเพื่อการลงทุน โดยสามารถครอบคลุมรถยนต์ไฟฟ้าทุกช่วงการขับขี่ต่อรอบการชาร์จไฟแบตเตอรี่

4.2 กลุ่มตัวอย่างและตัวแปรที่ทำการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาทางหลวงหมายเลข 1, 2, 22, 23 และ 24 โดยศึกษาเส้นทางของทางหลวงทั้ง 5 สาย ว่าผ่านอำเภอและจังหวัดใดบ้าง ผู้วิจัยได้เลือกจุดที่เป็นไปได้ในการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า จากอำเภอที่มีจำนวนประชากรมากกว่าหนึ่งแสนห้าหมื่นคน จากข้อมูลจำนวนประชากรจากการทะเบียน ปี พ.ศ. 2559 โดยกรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย (2560) ซึ่งได้แก่จุดที่ 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 16, 17, 18, และ 19 รวมทั้งรวม 14 จุด แต่เนื่องจากบางเส้นทางมีระยะทางระหว่างจุดข้างต้นมากกว่าช่วงการขับขี่รถยนต์ไฟฟ้าที่น้อยที่สุด คือ 120 กิโลเมตร สำหรับหนึ่งรอบการชาร์จไฟฟ้า จึงได้กำหนดจุดเพิ่มเป็นกรณีพิเศษ ได้แก่ จุดที่ 3, 4, 11, 13, 14, 20 และ 21 รวมทั้งรวม 7 จุด โดยจากอำเภอระหว่างเส้นทางที่มีระยะทางมากกว่าช่วงการขับขี่รถยนต์ไฟฟ้าที่น้อยที่สุดนั้น เลือกอำเภอที่มีประชากรมากกว่าหนึ่งแสนคน และเป็นจุดที่ทำให้รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางระหว่างจุดได้โดยพลังงานไฟฟ้าไม่หมดระหว่างทาง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดที่ตั้งที่ใช้สำหรับการพิจารณที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด 21 จุด โดยหมายเลขทางหลวง



ตารางที่ 4.1 หมายเลขทางหลวง อำเภอ และจำนวนประชากรในอำเภอ ของจุดที่ตั้งที่ใช้สำหรับการพิจารณาตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด 21 จุด

จุดที่ตั้ง	หมายเลขทางหลวง	อำเภอ	จังหวัด	จำนวนประชากร
1	2	อำเภอปากช่อง	จังหวัดนครราชสีมา	193,824
2	2	อำเภอเมืองนครราชสีมา	จังหวัดนครราชสีมา	457,163
3	2	อำเภอโนนสูง	จังหวัดนครราชสีมา	127,224
4	2, 23	อำเภอบ้านไผ่	จังหวัดขอนแก่น	100,735
5	2	อำเภอเมืองขอนแก่น	จังหวัดขอนแก่น	413,759
6	2, 22	อำเภอเมืองอุดรธานี	จังหวัดอุดรธานี	409,747
7	22	อำเภอสว่างแดนดิน	จังหวัดสกลนคร	151,261
8	22	อำเภอเมืองสกลนคร	จังหวัดสกลนคร	195,242
9	23	อำเภอเมืองมหาสารคาม	จังหวัดมหาสารคาม	160,110
10	23	อำเภอเมืองร้อยเอ็ด	จังหวัดร้อยเอ็ด	157,271
11	23	อำเภอเมืองยโสธร	จังหวัดยโสธร	129,797
12	23, 24	อำเภอเมืองอุบลราชธานี	จังหวัดอุบลราชธานี	221,923
13	24	อำเภอปักธงชัย	จังหวัดนครราชสีมา	117,409
14	24	อำเภอประโคนชัย	จังหวัดบุรีรัมย์	136,556
15	24	อำเภอปราสาท	จังหวัดสุรินทร์	157,122
16	24	อำเภอขุขันธ์	จังหวัดศรีสะเกษ	151,094
17	24	อำเภอกันทรลักษ์	จังหวัดศรีสะเกษ	201,533
18	24	อำเภอเดชอุดม	จังหวัดอุบลราชธานี	177,477
19	24	อำเภอวารินชำราบ	จังหวัดอุบลราชธานี	161,949
20	1	อำเภอบางปะอิน	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	106,749
21	1	อำเภอเมืองสระบุรี	จังหวัดสระบุรี	118,851

ตารางที่ 4.2 ระยะทาง (d_{ij}) ระหว่างโหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในรูปที่ 4.1

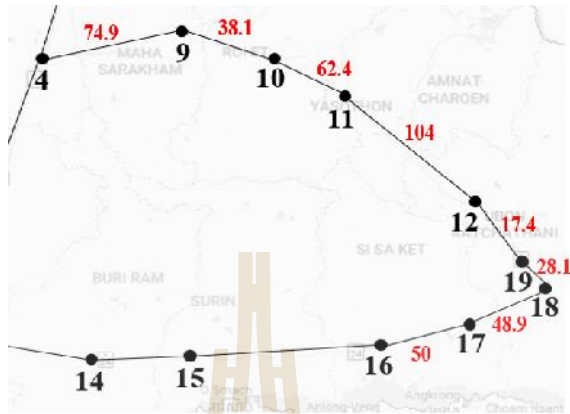
โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	ระยะทาง (d_{ij}) (km)	โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	ระยะทาง (d_{ij}) (km)
1	2	87.5	11	10	62.4
1	13	81.5	11	12	104
1	21	60.5	12	11	104
2	1	87.5	12	19	17.4
2	3	52.3	13	1	81.5
2	13	81.3	13	2	81.3
3	2	52.3	13	14	116
3	4	94.9	14	13	116
4	3	94.9	14	15	38.3
4	5	46.8	15	14	38.3
4	9	74.9	15	16	86.9
5	4	46.8	16	15	86.9
5	6	117	16	17	50
6	5	117	17	16	50
6	7	77.1	17	18	48.9
7	6	77.1	18	17	48.9
7	8	78	18	19	28.1
8	7	78	19	18	28.1
9	4	74.9	19	12	17.4
9	10	38.1	20	21	53.6
10	9	38.1	21	1	60.5
10	11	62.4	21	20	52.6

The screenshot shows the Microsoft Excel Solver Parameters dialog box overlaid on a spreadsheet. The spreadsheet contains a table with columns A through H and rows 45 through 71. The formula bar shows the objective function: $\text{SUMPRODUCT}(\text{Route}, \text{Distance})$. The Solver Parameters dialog box is configured as follows:

- Set Objective:** \$C\$71
- To:** Min Max Value Of
- By Changing Variable Cells:** \$B\$45:\$B\$70
- Subject to the Constraints:** \$D\$45:\$D\$70 >= \$E\$45:\$E\$70
- Make Unconstrained Variables Non-Negative
- Select a Solving Method:** Simplex LP
- Solving Method:** Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.

The spreadsheet data is as follows:

	A	B	C	D	E	F	G	H
45	22	21	0	65.9				
46	22	23	0	38.1				
47	23	22	0	38.1				
48	23	33	0	17.4				
49	33	23	0	17.4				
50	33	32	0	28.1				
51	32	33	0	28.1				
52	32	31	0	48.9				
53	31	32	0	48.9				
54	31	30	0	32.9				
55	30	31	0	32.9				
56	30	29	0	17.1				
57	29	30	0	17.1				
58	29	28	0	40.9				
59	28	29	0	40.9				
60	28	27	0	46				
61	27	28	1	46				
62	27	26	0	38.3				
63	26	27	1	38.3				
64	26	25	0	59.5				
65	25	26	1	59.5				
66	25	24	0	56				
67	24	25	1	56				
68	24	3	0	42.2				
69								
70								
71		Total		627.3 km	95			



โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	วิธีสั้นสุด (Route _{ij})	ระยะทาง (Dist _{ij})
1	1	1	0
1	2	1 2	87.5
1	3	1 2 3	139.8
1	4	1 2 3 4	234.7
1	5	1 2 3 4 5	281.5
1	6	1 2 3 4 5 6	398.5
1	7	1 2 3 4 5 6 7	475.6
1	8	1 2 3 4 5 6 7 8	553.6
1	9	1 2 3 4 9	309.6
1	10	1 2 3 4 9 10	347.7

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างโหนดผลลัพธ์วิธีสั้นสุด ($Route_{ij}$) และผลรวมของระยะทาง ($Dist_{ij}$) ของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) (ต่อ)

โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	วิธีสั้นสุด ($Route_{ij}$)										ระยะทาง ($Dist_{ij}$)
1	11	1	2	3	4	9	10	11				410.1
1	12	1	13	14	15	16	17	18	19	12		467.1
1	13	1	13									81.5
1	14	1	13	14								197.5
1	15	1	13	14	15							235.8
1	16	1	13	14	15	16						322.7
1	17	1	13	14	15	16	17					372.7
1	18	1	13	14	15	16	17	18				421.6
1	19	1	13	14	15	16	17	18	19			449.7
1	20	1	21	20								114.1
1	21	1	21									60.5
2	3	2	3									52.3
...												
4	16	4	9	10	11	12	19	18	17	16		423.8
...												
20	21	20	21									53.6

4.3.2 ผลการหาจำนวนจุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

ผลจากการหาจำนวนจุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ค่าโหนดจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าถูกบันทึกในตัวแปรอาร์เรย์ “ $Choosed_{ij}$ ” และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าถูกบันทึกในตัวแปรอาร์เรย์ “ n_{ij} ” ดังภาคผนวก ข ส่วนตารางที่ 4.4 แสดงตัวอย่างโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จ

MATLAB R2016a

HOME PLOTS APPS EDITOR PUBLISH VIEW

Find Files Find Go To Comment Indent Breakpoints Pause Run and Advance Run and Time

Current Folder: C:\Matlab\R2016a\bin

```

23 i = 1;
24 for i = 1:21;
25     for j = 1:21;
26         if j == i
27             p = route(i,j) %shortest path
28             t = 1
29             x = [p(t)] %first point shortest path
30             y = [p(t+1)] %next point
31             d = dist(x,y) %distance from x to y
32             ch(t) = x; %x is first chosen point
33             ch = ch(1:t) %save in variable 'ch'
34             while t <= length(p)-1 && y == [p(end)]
35                 t = t+1
36                 if d <= range %distance from x to y is not ex
37                     y = [p(t+1)] %y move to next point in shorte
38                     d = dist(x,y) %distance from x to y is saved
39                     if d > range %distance from x to y is exceed
40                         ch(t) = [p(t)]; %previous point of the current
41                         ch = ch(1:end) %save in variable 'ch'
42                     end
43                 else

```

Workspace: Name Value Size

Command Window: Busy script Ln 7 Col 9

MATLAB R2016a

HOME PLOTS APPS VARIABLE VIEW

Variables - chosen

chosen 21x21 cell

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1	1	1	1	1	[1,0,0,5]	[1,0,0,5]	[1,0,0,5]	[1,0,0,4]	[1,0,0,4]	[1,0,0,4]	[1,0,0,15]	1	1	1	[1,0,0,15]	[1,0,0,15]	[1,0,0,15]
2	2	2	2	2	2	[2,0,0,5]	[2,0,0,5]	[2,0,0,5]	2	2	[2,0,0,10]	[2,0,0,10]	2	2	2	[2,0,0,15]	[2,0,0,15]	[2,0,0,15]
3	3	3	3	3	3	[3,0,0,6]	[3,0,0,6]	3	3	3	[3,0,0,11]	3	3	3	3	[3,0,0,15]	[3,0,0,15]	[3,0,0,11]
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	[4,0,0,0...]	[4,0,0,0...]	[4,0,0,0...]
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	[5,0,0,11]	[5,0,0,13]	[5,0,0,13]
6	[6,0,0,3]	[6,0,0,3]	6	6	6	6	6	6	6	6	[6,0,0,10]	[6,0,0,10]	[6,0,0,3]	[6,0,0,3]	[6,0,0,3]	[6,0,0,1...]	[6,0,0,10]	[6,0,0,10]
7	[7,0,0,4]	[7,0,0,4]	[7,0,0,4]	7	7	7	7	7	7	7	[7,0,0,4]	[7,0,0,4]	[7,0,0,4]	[7,0,0,4]	[7,0,0,4]	[7,0,0,4]	[7,0,0,4]	[7,0,0,4]
8	[8,0,0,5]	[8,0,0,5]	[8,0,0,5]	[8,0,0,5]	8	8	8	8	8	8	[8,0,0,5]	[8,0,0,5]	[8,0,0,5]	[8,0,0,5]	[8,0,0,5]	[8,0,0,5]	[8,0,0,5]	[8,0,0,5]
9	[9,0,0,2]	9	9	9	9	9	9	9	9	9	[9,0,0,6]	[9,0,0,6]	9	9	9	[9,0,0,2]	[9,0,0,2]	[9,0,0,0...]
10	[10,0,0,2]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	[10,0,0,6]	[10,0,0,6]	10	10	10	[10,0,0,2]	[10,0,0,2]	[10,0,0,0...]
11	[11,0,0,3]	[11,0,0,3]	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	[11,0,0,3]	[11,0,0,3]	[11,0,0,0...]
12	[12,0,0,0...]	[12,0,0,0,4]	[12,0,0,0,4]	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	[13,0,0,5]	[13,0,0,5]	[13,0,0,5]	[13,0,0,4]	[13,0,0,4]	[13,0,0,4]	[13,0,0,0...]	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	[14,0,0,3]	[14,0,0,3]	[14,0,0,3]	[14,0,0,3]	[14,0,0,3]	[14,0,0,3]	[14,0,0,3]	[14,0,0,0...]	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	[15,0,0,3]	[15,0,0,3]	[15,0,0,3]	[15,0,0,3]	[15,0,0,3]	[15,0,0,3]	[15,0,0,3]	[15,0,0,0...]	15	15	15	15	15	15	15
16	[16,0,0,13]	[16,0,0,13]	[16,0,0,13]	[16,0,0,0...]	[16,0,0,0...]	[16,0,0,0...]	[16,0,0,0...]	[16,0,0,0...]	[16,0,0,0...]	[16,0,0,0...]	[16,0,0,0...]	16	16	16	16	16	16	16
17	[17,0,0,0...]	[17,0,0,0...]	[17,0,0,0...]	[17,0,0,0...]	[17,0,0,0...]	[17,0,0,0...]	[17,0,0,0...]	[17,0,0,0...]	[17,0,0,0...]	[17,0,0,0...]	[17,0,0,0...]	17	17	17	17	17	17	17
18	[18,0,0,0...]	[18,0,0,0...]	[18,0,0,0...]	[18,0,0,0...]	[18,0,0,0...]	[18,0,0,0...]	[18,0,0,0...]	[18,0,0,0...]	[18,0,0,0...]	[18,0,0,0...]	[18,0,0,0...]	18	18	18	18	18	18	18
19	[19,0,0,0...]	[19,0,0,0...]	[19,0,0,0...]	[19,0,0,0...]	[19,0,0,0...]	[19,0,0,0...]	[19,0,0,0...]	[19,0,0,0...]	[19,0,0,0...]	[19,0,0,0...]	[19,0,0,0...]	19	19	19	19	19	19	19

ตัวอย่างเช่น พิจารณารอยนต์ไฟฟ้าเดินทางจากโหนดต้นทาง 4 ($i=4$) ไปยังโหนดปลายทาง 16 ($j=16$) และช่วงการจับจีของรอยนต์ไฟฟ้าที่ 120 กิโลเมตร ($R_j = 120$) รอยนต์ไฟฟ้าเดินทางจากโหนดต้นทาง 4 ($i=4$) ไปยังโหนด 9 บนวิถีสั้นสุดในรูปที่ 3.2 ระยะทางสะสมเท่ากับ 74.9 กิโลเมตร ซึ่งน้อยกว่าช่วงการจับจีของรอยนต์ไฟฟ้าที่ 120 กิโลเมตร ดังนั้นเดินทางต่อไปยังโหนด 10 ระยะทางสะสมเท่ากับ $74.9 + 38.1 = 113$ กิโลเมตร ซึ่งน้อยกว่าช่วงการจับจีของรอยนต์ไฟฟ้าที่ 120 กิโลเมตร ดังนั้นเดินทางต่อไปยังโหนด 11 ระยะทางสะสมเท่ากับ $113 + 62.4 = 175.4$ กิโลเมตร ซึ่งมากกว่าช่วงการจับจีของรอยนต์ไฟฟ้าที่ 120 กิโลเมตร ดังนั้นบันทึกค่าโหนดก่อนหน้าคือโหนด 10 ในตัวแปรอาร์เรย์ “ $Chosed_{4,16}$ ” และ $n_{4,16} = 1$ และกำหนดให้โหนด 10 เป็นโหนดต้นทางใหม่ คือมีพลังงานไฟฟ้าเต็ม ณ โหนดนี้

รอยนต์ไฟฟ้าเดินทางต่อจากโหนด 10 ไปยังโหนด 11 ระยะทางสะสมเท่ากับ 62.4 กิโลเมตร ซึ่งน้อยกว่าช่วงการจับจีของรอยนต์ไฟฟ้าที่ 120 กิโลเมตร ดังนั้นเดินทางต่อไปยังโหนด 12 ระยะทางสะสมเท่ากับ $62.4 + 104 = 166.4$ กิโลเมตร ซึ่งมากกว่าช่วงการจับจีของรอยนต์ไฟฟ้าที่ 120 กิโลเมตร ดังนั้นบันทึกค่าโหนดก่อนหน้าคือโหนด 11 ในตัวแปรอาร์เรย์ “ $Chosed_{4,16}$ ” และ $n_{4,16} = 2$ และกำหนดให้โหนด 11 เป็นโหนดต้นทางใหม่ คือมีพลังงานไฟฟ้าเต็ม ณ โหนดนี้

รอยนต์ไฟฟ้าเดินทางต่อจากโหนด 11 ไปยังโหนด 12 ระยะทางสะสมเท่ากับ 104 กิโลเมตร ซึ่งน้อยกว่าช่วงการจับจีของรอยนต์ไฟฟ้าที่ 120 กิโลเมตร ดังนั้นเดินทางต่อไปยังโหนด 19 ระยะทางสะสมเท่ากับ $104 + 17.4 = 121.4$ กิโลเมตร ซึ่งมากกว่าช่วงการจับจีของรอยนต์ไฟฟ้าที่ 120 กิโลเมตร ดังนั้นบันทึกค่าโหนดก่อนหน้าคือโหนด 12 ในตัวแปรอาร์เรย์ “ $Chosed_{4,16}$ ” และ $n_{4,16} = 3$ และกำหนดให้โหนด 12 เป็นโหนดต้นทางใหม่ คือมีพลังงานไฟฟ้าเต็ม ณ โหนดนี้

รอยนต์ไฟฟ้าเดินทางต่อจากโหนด 12 ไปยังโหนด 19 ระยะทางสะสมเท่ากับ 17.4 กิโลเมตร ซึ่งน้อยกว่าช่วงการจับจีของรอยนต์ไฟฟ้าที่ 120 กิโลเมตร ดังนั้นเดินทางต่อไปยังโหนด 18 ระยะทางสะสมเท่ากับ $17.4 + 28.1 = 45.5$ กิโลเมตร ซึ่งน้อยกว่าช่วงการจับจีของรอยนต์ไฟฟ้าที่ 120 กิโลเมตร ดังนั้นเดินทางต่อไปยังโหนด 17 ระยะทางสะสมเท่ากับ $45.5 + 48.9 = 94.4$ กิโลเมตร ซึ่งน้อยกว่าช่วงการจับจีของรอยนต์ไฟฟ้าที่ 120 กิโลเมตร ดังนั้นเดินทางต่อไปยังโหนด 16 ระยะทางสะสมเท่ากับ $94.4 + 50 = 144.4$ กิโลเมตร ซึ่งมากกว่าช่วงการจับจีของรอยนต์ไฟฟ้าที่ 120 กิโลเมตร ดังนั้นบันทึกค่าโหนดก่อนหน้าคือโหนด 17 ในตัวแปรอาร์เรย์ “ $Chosed_{4,16}$ ” และ $n_{4,16} = 4$ และกำหนดให้โหนด 17 เป็นโหนดต้นทางใหม่ คือมีพลังงานไฟฟ้าเต็ม ณ โหนดนี้

รอยนต์ไฟฟ้าเดินทางต่อจากโหนด 17 ไปยังโหนด 16 ระยะทางสะสมเท่ากับ 50 กิโลเมตร ซึ่งน้อยกว่าช่วงการจับจีของรอยนต์ไฟฟ้าที่ 120 กิโลเมตร และโหนด 16 เป็นโหนดปลายทาง 16 ($j=16$) ดังนั้น ที่ช่วงการจับจีของรอยนต์ไฟฟ้าเท่ากับ 120 กิโลเมตร $Chosed_{4,16} =$

10, 11, 12, 17 และ $n_{4,16} = 4$ สรุปได้ว่า จากโหนดต้นทาง 4 ($i = 4$) ไปยังโหนดปลายทาง 16 ($j = 16$) ในกรณีช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้าที่ 120 กิโลเมตร ($R_j = 120$) จะต้องตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าอย่างน้อย 4 สถานี ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่าง โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)

โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	ช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)	จุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (n_{ij})	โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$)					
1	2	120	0	0					
		200	0	0					
		300	0	0					
1	3	120	1	0	2				
		200	0	0					
		300	0	0					
1	4	120	2	0	2	3			
		200	1	0	0	3			
		300	0	0					
1	5	120	3	0	2	3	4		
		200	1	0	0	3			
		300	0	0					
1	6	120	4	0	2	3	4	5	
		200	2	0	0	3	0	5	
		300	1	0	0	0	0	5	

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Chosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	ช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)	จุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (n_{ij})	โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Chosed_{ij}$)																	
1	21	120	0	0																	
		200	0	0																	
		300	0	0																	
2	3	120	0	0																	
		200	0	0																	
		300	0	0																	
...																	
4	16	120	4	0	0	10	11	12	0	0	17										
		200	2	0	0	0	11	0	0	0	17										
		300	1	0	0	0	0	0	19												
...																	
20	21	120	0	0																	
		200	0	0																	
		300	0	0																	

4.3.3 ผลการหาทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด

ทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดในการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) โดยใช้จำนวนจุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (n_{ij}) เป็นตัวกำหนดถูกบันทึกในตัวแปรอาร์เรย์ "Allslocation_{ij}" โดยการหาทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ใช้การเขียนพัฒนาโปรแกรมในโปรแกรม MATLAB ช่วยในการคำนวณ ดังรูปที่ 4.5

MATLAB R2016a

HOME PLOTS APPS EDITOR PUBLISH VIEW Search Documentation

FILE NAVIGATE EDIT BREAKPOINTS RUN

Current Folder: C:\Matlab\R2016a\bin

```

65 q = 1;
66 t = 1;
67 clearvars poss
68 clearvars possible(q)
69 clearvars set
70 while q < length(route(i,j))
71     poss = [];
72     x = route(i,j)(q) %x is point q in shortest path ij
73     s = 1;
74     for u = q+1:length(route(i,j)) %u = q+1 to number of shortest path ij
75         y = route(i,j)(u) %y is every point after x
76         d = dist(x,y) %distance from x to y
77         if d <= range %distance from x to y is not exceed the range
78             poss(s) = y %save in variable 'poss'
79             s = s+1;
80         end
81     end
82     possible(q) = poss %save every possible points in variable 'possible'
83     for r = 1:length(poss)
84         st(r,1) = x
85         st(r,2) = poss(r)

```

Command Window

script Ln 7 Col 9

MATLAB R2016a

HOME PLOTS APPS VARIABLE VIEW Search Documentation

NEW FROM SELECTION EDIT

VARIABLE SELECTION

Variables - cslocationset120

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1			[1,2]	[1,2,3]	[1,2,3,4]	[1,2,3,4,5]	[1,2,3,4,5,6]	[1,2,3,4,5,6,7]	[1,2,3,4,5,6,7,8]	[1,2,3,4,5,6,7,8,9]	[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11]	[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]	[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]	[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14]	[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]	[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]	[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]
2				[2,3]	[2,3,4]	[2,3,4,5]	[2,3,4,5,6]	[2,3,4,5,6,7]	[2,3,4,5,6,7,8]	[2,3,4,5,6,7,8,9]	[2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[2,3,4,5,6,7,8,9,10,11]	[2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]	[2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]	[2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14]	[2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]	[2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]	[2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]	[2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18]
3	[3,2]				[3,4]	[3,4,5]	[3,4,5,6]	[3,4,5,6,7]	[3,4,5,6,7,8]	[3,4,5,6,7,8,9]	[3,4,5,6,7,8,9,10]	[3,4,5,6,7,8,9,10,11]	[3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]	[3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]	[3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14]	[3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]	[3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]	[3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]	[3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18]
4	[4,3,2]	[4,3]			[4,5]	[4,5,6]	[4,5,6,7]	[4,5,6,7,8]	[4,5,6,7,8,9]	[4,5,6,7,8,9,10]	[4,5,6,7,8,9,10,11]	[4,5,6,7,8,9,10,11,12]	[4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]	[4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14]	[4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]	[4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]	[4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]	[4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18]	[4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19]
5	[5,4,3,2]	[5,4,3]	[5,4]			[5,6]	[5,6,7]	[5,6,7,8]	[5,6,7,8,9]	[5,6,7,8,9,10]	[5,6,7,8,9,10,11]	[5,6,7,8,9,10,11,12]	[5,6,7,8,9,10,11,12,13]	[5,6,7,8,9,10,11,12,13,14]	[5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]	[5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]	[5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]	[5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18]	[5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19]
6	[6,5,4,3,2]	[6,5,4,3]	[6,5,4]	[6,5]			[6,7]	[6,7,8]	[6,7,8,9]	[6,7,8,9,10]	[6,7,8,9,10,11]	[6,7,8,9,10,11,12]	[6,7,8,9,10,11,12,13]	[6,7,8,9,10,11,12,13,14]	[6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]	[6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]	[6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]	[6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18]	[6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19]
7	[7,6,5,4,3,2]	[7,6,5,4,3]	[7,6,5,4]	[7,6,5]	[7,6]			[7,6,5,4]	[7,6,5,4,3]	[7,6,5,4,3,2]	[7,6,5,4,3,2,1]	[7,6,5,4,3,2,1,0]	[7,6,5,4,3,2,1,0,-1]	[7,6,5,4,3,2,1,0,-1,-2]	[7,6,5,4,3,2,1,0,-1,-2,-3]	[7,6,5,4,3,2,1,0,-1,-2,-3,-4]	[7,6,5,4,3,2,1,0,-1,-2,-3,-4,-5]	[7,6,5,4,3,2,1,0,-1,-2,-3,-4,-5,-6]	[7,6,5,4,3,2,1,0,-1,-2,-3,-4,-5,-6,-7]
8	[8,7,6,5,4,3,2]	[8,7,6,5,4,3]	[8,7,6,5,4]	[8,7,6,5]	[8,7,6]	[8,7]			[8,7,6,5,4]	[8,7,6,5,4,3]	[8,7,6,5,4,3,2]	[8,7,6,5,4,3,2,1]	[8,7,6,5,4,3,2,1,0]	[8,7,6,5,4,3,2,1,0,-1]	[8,7,6,5,4,3,2,1,0,-1,-2]	[8,7,6,5,4,3,2,1,0,-1,-2,-3]	[8,7,6,5,4,3,2,1,0,-1,-2,-3,-4]	[8,7,6,5,4,3,2,1,0,-1,-2,-3,-4,-5]	[8,7,6,5,4,3,2,1,0,-1,-2,-3,-4,-5,-6]
9	[9,4,3,2]	[9,4,3]	[9,4]			[9,4,5]	[9,4,5,6]	[9,4,5,6,7]	[9,4,5,6,7,8]	[9,4,5,6,7,8,9]	[9,4,5,6,7,8,9,10]	[9,4,5,6,7,8,9,10,11]	[9,4,5,6,7,8,9,10,11,12]	[9,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]	[9,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14]	[9,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]	[9,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]	[9,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]	[9,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18]
10	[10,4,3,2]	[10,4,3]	[10,4]			[10,4,5]	[10,4,5,6]	[10,4,5,6,7]	[10,4,5,6,7,8]	[10,4,5,6,7,8,9]	[10,4,5,6,7,8,9,10]	[10,4,5,6,7,8,9,10,11]	[10,4,5,6,7,8,9,10,11,12]	[10,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]	[10,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14]	[10,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]	[10,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]	[10,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]	[10,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18]
11	[11,10,4,3,2]	[11,10,4,3]	[11,10,4]	[11,10,4,5]	[11,10,4,5,6]	[11,10,4,5,6,7]	[11,10,4,5,6,7,8]	[11,10,4,5,6,7,8,9]	[11,10,4,5,6,7,8,9,10]	[11,10,4,5,6,7,8,9,10,11]	[11,10,4,5,6,7,8,9,10,11,12]	[11,10,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]	[11,10,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14]	[11,10,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]	[11,10,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]	[11,10,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]	[11,10,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18]	[11,10,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19]	[11,10,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20]
12	[12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2]	[12,11,10,9,8,7,6,5,4,3]	[12,11,10,9,8,7,6,5,4]	[12,11,10,9,8,7,6,5]	[12,11,10,9,8,7,6]	[12,11,10,9,8,7]	[12,11,10,9,8]	[12,11,10,9,8,7]	[12,11,10,9,8,7,6]	[12,11,10,9,8,7,6,5]	[12,11,10,9,8,7,6,5,4]	[12,11,10,9,8,7,6,5,4,3]	[12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2]	[12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2,1]	[12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2,1,0]	[12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2,1,0,-1]	[12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2,1,0,-1,-2]	[12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2,1,0,-1,-2,-3]	[12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2,1,0,-1,-2,-3,-4]
13			[13,2]	[13,2,3]	[13,2,3,4]	[13,2,3,4,5]	[13,2,3,4,5,6]	[13,2,3,4,5,6,7]	[13,2,3,4,5,6,7,8]	[13,2,3,4,5,6,7,8,9]	[13,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[13,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11]	[13,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]	[13,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]	[13,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14]	[13,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]	[13,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]	[13,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]	[13,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18]
14	[14,1,3]	[14,1,3]	[14,1,3,2]	[14,1,3,2,3]	[14,1,3,2,3,4]	[14,1,3,2,3,4,5]	[14,1,3,2,3,4,5,6]	[14,1,3,2,3,4,5,6,7]	[14,1,3,2,3,4,5,6,7,8]	[14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9]	[14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11]	[14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]	[14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]	[14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14]	[14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]	[14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]	[14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]	[14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18]
15	[15,14,1,3]	[15,14,1,3]	[15,14,1,3,2]	[15,14,1,3,2,3]	[15,14,1,3,2,3,4]	[15,14,1,3,2,3,4,5]	[15,14,1,3,2,3,4,5,6]	[15,14,1,3,2,3,4,5,6,7]	[15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8]	[15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9]	[15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11]	[15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]	[15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]	[15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14]	[15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]	[15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]	[15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]	[15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18]
16	[16,15,14,1,3]	[16,15,14,1,3]	[16,15,14,1,3,2]	[16,15,14,1,3,2,3]	[16,15,14,1,3,2,3,4]	[16,15,14,1,3,2,3,4,5]	[16,15,14,1,3,2,3,4,5,6]	[16,15,14,1,3,2,3,4,5,6,7]	[16,15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8]	[16,15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9]	[16,15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[16,15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11]	[16,15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]	[16,15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]	[16,15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14]	[16,15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]	[16,15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]	[16,15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]	[16,15,14,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18]
17	[17,16,15,1,3]	[17,16,15,1,3]	[17,16,15,1,3,2]	[17,16,15,1,3,2,3]	[17,16,15,1,3,2,3,4]	[17,16,15,1,3,2,3,4,5]	[17,16,15,1,3,2,3,4,5,6]	[17,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7]	[17,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8]	[17,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9]	[17,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[17,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11]	[17,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]	[17,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]	[17,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14]	[17,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]	[17,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]	[17,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]	[17,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18]
18	[18,16,15,1,3]	[18,16,15,1,3]	[18,16,15,1,3,2]	[18,16,15,1,3,2,3]	[18,16,15,1,3,2,3,4]	[18,16,15,1,3,2,3,4,5]	[18,16,15,1,3,2,3,4,5,6]	[18,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7]	[18,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8]	[18,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9]	[18,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[18,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11]	[18,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]	[18,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]	[18,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14]	[18,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]	[18,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]	[18,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]	[18,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18]
19	[19,16,15,1,3]	[19,16,15,1,3]	[19,16,15,1,3,2]	[19,16,15,1,3,2,3]	[19,16,15,1,3,2,3,4]	[19,16,15,1,3,2,3,4,5]	[19,16,15,1,3,2,3,4,5,6]	[19,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7]	[19,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8]	[19,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9]	[19,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10]	[19,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11]	[19,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]	[19,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]	[19,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14]	[19,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]	[19,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]	[19,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]	[19,16,15,1,3,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18]

Variables

รอบที่ 1 ($q = 1$) จากโหนดต้นทาง 4 รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางไปถึงโหนด 9 และโหนด 10 บนวิถีสั้นสุดได้โดยระยะทางน้อยกว่าช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า

รอบที่ 2 ($q = 2$) จากโหนด 9 รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางไปถึงโหนด 10 และโหนด 11 ได้ และจากโหนด 10 รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางไปถึงโหนด 11 บนวิถีสั้นสุดได้โดยระยะทางน้อยกว่าช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า

รอบที่ 3 ($q = 3$) จากโหนด 10 รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางไปถึงโหนด 11 และจากโหนด 11 รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางไปถึงโหนด 12 บนวิถีสั้นสุดได้โดยระยะทางน้อยกว่าช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า

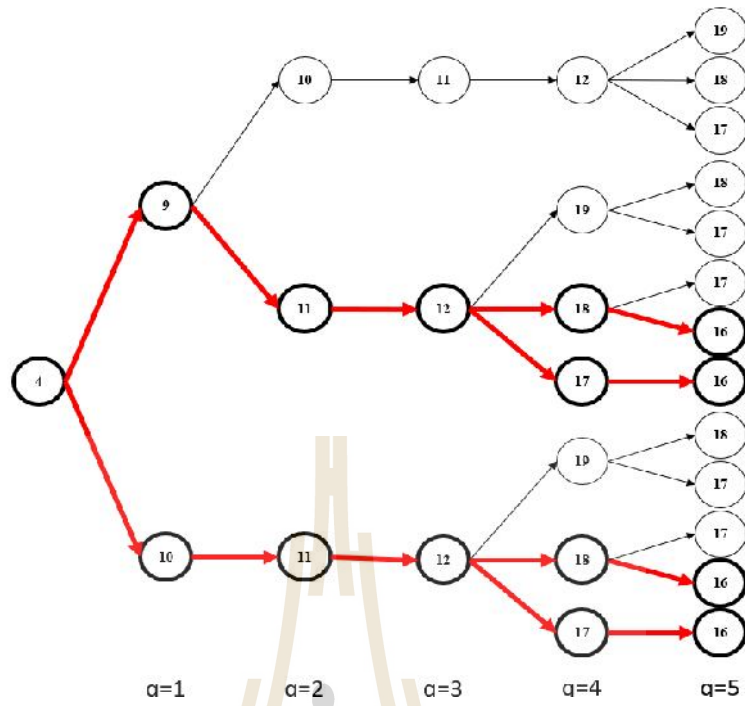
รอบที่ 4 ($q = 4$ และ $q = n_{4,16}$) จากโหนด 11 รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางไปถึงโหนด 12 และจากโหนด 12 รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางไปถึงโหนด 19 โหนด 18 และโหนด 17 บนวิถีสั้นสุดได้โดยระยะทางน้อยกว่าช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า

รอบที่ 5 ($q = 5$ และ $q = n_{4,16} + 1$) จากโหนด 12 รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางไปถึงโหนด 19 โหนด 18 และโหนด 17 จากโหนด 19 รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางไปถึงโหนด 18 และโหนด 17 จากโหนด 18 รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางไปถึงโหนด 17 และโหนด 16 และจากโหนด 17 รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางไปถึงโหนด 16 บนวิถีสั้นสุดได้โดยระยะทางน้อยกว่าช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า

ทางเลือกการตั้งรถยนต์ไฟฟ้าจากจากโหนดต้นทาง 4 ($i = 4$) ไปยังโหนดปลายทาง 16 ($j = 16$) และช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้าที่ 120 กิโลเมตร ($R_I = 120$) โดยมี $n_{4,16} = 4$ หาได้จากรอบที่ $q = n_{ij}$ หรือ $q = 4$ โหนดที่รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางไปถึงโหนดปลายทาง 16 ได้ กล่าวอีกนัยหนึ่ง โหนดที่ $q = n_{ij} + 1$ หรือ $q = 5$ เท่ากับโหนด 16 ได้แก่ โหนด 18 และ โหนด 17 บันทึกค่าชุดคำตอบที่ในรอบที่ $q = n_{ij}$ หรือ $q = 4$ เท่ากับโหนด 18 และ โหนด 17 ในอาร์เรย์

"Allslocation_{ij}" ได้แก่ $\left\{ \begin{array}{l} 9 \ 11 \ 12 \ 18 \\ 9 \ 11 \ 12 \ 17 \\ 10 \ 11 \ 12 \ 18 \\ 10 \ 11 \ 12 \ 17 \end{array} \right\}$ ดังนั้นสรุปได้ว่า ทางเลือกการตั้งรถยนต์ไฟฟ้าจาก

โหนดต้นทาง 4 ($i = 4$) ไปยังโหนดปลายทาง 16 ($j = 16$) และช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้าที่ 120 กิโลเมตร ($R_I = 120$) มีทั้งหมด 4 ทางเลือก คือ ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่โหนด 9 11 12 และ 18 หรือ ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่โหนด 9 11 12 และ 17 หรือ ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่โหนด 10 11 12 และ 18 หรือ ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่โหนด 10 11 12 และ 17 ดังรูปที่ 4.6



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

MATLAB R2016a

HOME PLOTS APPS

Find Files New Variable Analyze Code Preferences
 Open Variable Run and Time Set Path Community
 Import Data Save Workspace Clear Workspace Clear Commands Simulink Layout Parallel Add-Ons Help Request Support

Current Folder: C:\Matlab\R2016a\bin

```

128
129
130
131 clearvars cslocation
132 for u = 1:numel(location1(:,1))
133     pointn = location1(u,n)
134     if dist(pointn,j) <= range
135         cslocation(h,:) = location1(u,:)
136         h = h+1
137     end
138 end
139
140 if range == 120
141     cslocationset120(i,j) = cslocation
142 elseif range == 200
143     cslocationset200(i,j) = cslocation
144 else range == 300
145     cslocationset300(i,j) = cslocation
146 end
147 else
148     if range == 120
149         cslocationset120(i,j) = []

```

Command Window

MATLAB R2016a

HOME PLOTS APPS VARIABLE VIEW

Rows Columns Transpose
 Print 1 1 Insert Delete Sort

Current: Variables - cslocationset300

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	1E
1	0	0	0	0	0	[1,3;1,4;1...	[1,4;1,5]	[1,5]	[1,2;1,3;1...	[1,3;1,4]	[1,14;1,15]	0	0	0	0	[1,13;1,14...	[1,13;1,14...	[1,14;1...
2	0	0	0	0	0	[2,3;2,4;2...	[2,4;2,5]	[2,5]	0	0	[2,3;2,4;2...	[2,4;2,9;2...	0	0	0	[2,13;2,14...	[2,13;2,14...	[2,14;2...
3	0	0	0	0	0	[3,4;3,5;3...	[3,5;3,6]	0	0	0	[3,4;3,9;3...	0	0	0	0	[3,13;3,14...	[3,13;3,14...	[3,9;3...
4	0	0	0	0	0	0	0	[4,5;4,6;4...	0	0	0	0	0	[4,3;4,2;4...	[4,3;4,2;4...	[4,11;4,12...	[4,9;4,10...	[4,9;4...
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	[5,3;5,2;5...	[5,3;5,2;5...	[5,11]	[5,9;5,10...	[5,9;5...	
6	[6,5;6,4;6...	[6,5;6,4;6...	0	0	0	0	0	0	0	0	[6,5;6,4;6...	[6,4;6,9;6...	[6,5;6,4;6...	[6,3]	[6,3]	14x3 dou...	[6,9;6,10]	[6,9;6...
7	[7,5;7,4]	[7,5;7,4]	[7,6;7,5;7...	0	0	0	0	0	0	[7,6;7,5;7...	[7,6;7,5;7...	[7,5;7,4]	[7,4]	[7,5;7,4]	7x3 double	7x3 double	4x3 double	10x3 dou...
8	[8,5]	[8,5]	[8,6;8,5]	[8,7;8,6;8...	0	0	0	0	[8,6;8,5]	[8,6;8,5]	[8,5]	8x3 double	[8,5]	4x3 double	4x3 double	[8,5;11]	5x3 double	5x3 do...
9	[9,4;9,3;9...	0	0	0	0	0	0	[9,4;9,5;9...	[9,5;9,6]	0	0	0	0	[9,4;9,3;9...	[9,3;9,2]	[9,12;9,19...	[9,11;9,12...	0
10	[10,4;10,3...	0	0	0	0	0	0	[10,4;10,5...	[10,5;10,6]	0	0	0	0	[10,4;10,3...	[10,12;10...	[10,12;10...	[10,11;10...	0
11	[11,4;11,3]	[11,10;11...	0	0	0	0	0	[11,10;11...	[11,4;11,5]	[11,5]	0	0	0	[11,4;11,3]	[11,12;11...	[11,12;11...	0	0
12	[12,15;12...	[12,10;12...	[12,11;12...	0	0	[12,11;12...	[12,10;12...	[12,4]	8x3 double	0	0	0	0	[12,17;12...	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	[13,3;13,4...	[13,4;13,5]	[13,5]	[13,2;13,3...	[13,2;13,3...	[13,3;13,4]	[13,14;13...	0	0	0	0	0	[13,14...
14	0	0	0	[14,13;14...	[14,13;14...	[14,3]	7x3 double	4x3 double	[14,2;14,3]	[14,17;14...	[14,16;14...	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	[15,13;15...	[15,13;15...	[15,3]	7x3 double	4x3 double	[15,17;15...	[15,17;15...	[15,16;15...	0	0	0	0	0	0	0
16	[16,15;16...	[16,15;16...	[16,19;16...	[16,11]	14x2 dou...	4x3 double	[16,11,5]	[16,17;16...	[16,17;16...	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	[17,15;17...	[17,15;17...	[17,19;17...	[17,11;17...	[17,10;17...	10x3 dou...	5x3 double	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	[18,15;18...	[18,15;18...	[18,11;18...	[18,10;18...	[18,10;18...	10x3 dou...	5x3 double	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	[19,15;19...	[19,10;19...	[19,11;19...	0	0	[19,11;19...	[19,10;19...	[19,4]	8x3 double	0	0	0	0	[19,17;19...	0	0	0	0

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)

โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	ช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)	จุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (n_{ij})	ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$)					
1	2	120	0	-					
		200	0	-					
		300	0	-					
1	3	120	1	2					
		200	0	-					
		300	0	-					
1	4	120	2	2	3				
		200	1	2					
		300	0	-					
1	5	120	3	2	3	4			
		200	1	2					
		300	0	-					
1	6	120	4	2	3	4	5		
		200	2	2	4				
				2	5				
				3	4				
				3	5				
		300	1	3					
				4					
5									

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	ช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)	จุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (n_{ij})	ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$)					
				2	3	4	5	6	
1	7	120	5	2	3	4	5	6	
		200	2	2	5				
		300	1	3	5				
1	8	120	6	2	3	4	5	6	7
		200	3	2	4	6			
				2	5	6			
				2	5	7			
				3	4	6			
				3	5	6			
				3	5	7			
1	9	120	3	2	3	4			
		200	1	3					
		300	1	2					
				3					
				4					

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	ช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)	จุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (n_{ij})	ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$)					
1	10	120	3	2	3	4			
				2	4				
				3	4				
		200	2	3	9				
				3					
				4					
		300	1	2					
				3					
				4					
1	11	120	4	2	3	4	9		
				2	3	4	10		
				3	4				
		200	2	2	4				
				3	4				
				3	9				
		300	1	3					
				4					
1	12	120	5	13	14	15	16	17	
				13	14	15	16	18	
		200	2	14	16				
				14	17				
		300	1	14					
				15					

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	ช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)	จุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (n_{ij})	ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$)					
1	13	120	0	-					
		200	0	-					
		300	0	-					
1	14	120	1	13					
		200	0	-					
		300	0	-					
1	15	120	2	13	14				
		200	1	13					
				14					
		300	0	-					
1	16	120	3	13	14	15			
		200	1	14					
		300	1	13					
				14					
				15					
1	17	120	4	13	14	15	16		
		200	1	14					
		300	1	13					
				14					
				15					

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	ช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)	จุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (n_{ij})	ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$)					
				13	14	15	16		
1	18	120	4	13	14	15	16		
		200	2	13	15				
				14	15				
				14	16				
		300	1	14	17				
				14					
15									
1	19	120	5	13	14	15	16	17	
		200	2	13	14	15	16	18	
				14	16				
		300	1	14	17				
				14					
		15							
1	20	120	0	-					
		200	0	-					
		300	0	-					
1	21	120	0	-					
		200	0	-					
		300	0	-					
2	3	120	0	-					
		200	0	-					
		300	0	-					

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	ช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)	จุดที่ตั้งที่น้อยที่สุดสำหรับตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า (n_{ij})	ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$)					
...					
4	16	120	4	9	11	12	18		
				9	11	12	17		
				10	11	12	18		
				10	11	12	17		
		200	2	10	12				
				10	19				
				11	12				
				11	19				
				11	18				
		300	1	11	17				
				11					
				12					
		19							
...					
20	21	120	0	-					
		200	0	-					
		300	0	-					

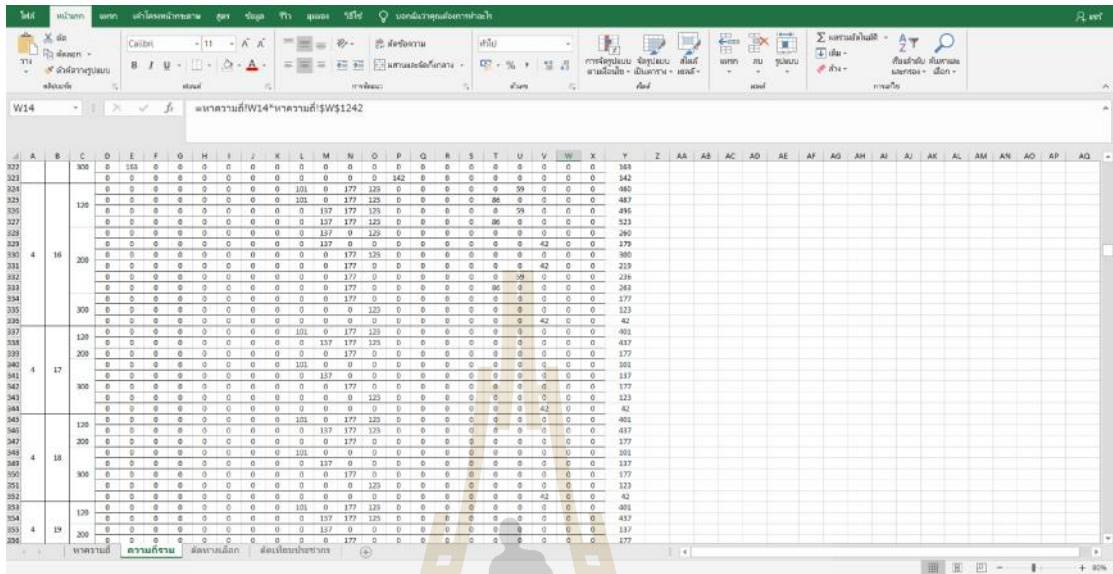
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความถี่ของแต่ละโหนดถูกเลือกให้เป็นทางเลือกของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

โหนด	ค่าความถี่	โหนด	ค่าความถี่	โหนด	ค่าความถี่
1	97	8	0	15	105
2	163	9	101	16	86
3	157	10	137	17	86
4	299	11	177	18	59
5	233	12	123	19	42
6	136	13	142	20	0
7	52	14	129	21	21

4.3.6 ผลการหาผลรวมของความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมด

นำความถี่ของแต่ละจุดที่ตั้งจากตารางที่ 4.6 ไปแทนค่าทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allclocation_{ij}$) สำหรับทุกคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ของทุกช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) ในภาคผนวก ค แล้วหาผลรวมของความถี่ในแต่ละทางเลือกของทุกคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) และทุกช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) ดังภาคผนวก ง ส่วนในตารางที่ 4.7 แสดงตัวอย่างผลรวมของความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) โดยในขั้นตอนการหาผลรวมของความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมด ใช้การเขียนพัฒนาโปรแกรมใน Visual basic for applications (VBA) ช่วยในการคำนวณ ดังรูปที่ 4.9

ตัวอย่างเช่น พิจารณารถยนต์ไฟฟ้าเดินทางจากโหนดต้นทาง 4 ($i = 4$) ไปยังโหนดปลายทาง 16 ($j = 16$) บนวิถีสิ้นสุด และช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้าเท่ากับ 120 กิโลเมตร ($R_i = 120$) มีทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด 4 ทางเลือก คือ ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่โหนด 9 11 12 และ 18 หรือ ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่โหนด 9 11 12 และ 17 หรือ ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่โหนด 10 11 12 และ 18 หรือ ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่โหนด 10 11 12 และ 17 จาก 4.3.3 ความถี่ของโหนด 9 10 11 12 19 18 และ 17 ตามตารางที่ 4.6 เท่ากับ 101 137 177 123 42 59 และ 86 ตามลำดับ จะได้ว่า ทางเลือกที่ 1 ได้แก่ โหนด 9 11 12 และ 18 มีผลรวมความถี่เท่ากับ 460 ทางเลือกที่ 2 ได้แก่ โหนด 9 11 12 และ 17 มีผลรวมความถี่เท่ากับ



โหนด ต้นทาง	โหนด ปลายทาง	ช่วงการจับยี่ ของรถยนต์	ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด	ความถี่
(i)	(j)	ไฟฟ้า (R_p)	(Allcsllocation $_{ij}$)	
1	2	120	-	0
		200	-	0
		300	-	0
1	3	120	2	163
		200	-	0
		300	-	0

ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่
โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการจับจีของรถยนต์
ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

โหนด ต้นทาง (i)	โหนด ปลายทาง (j)	ช่วงการจับจี ของรถยนต์ ไฟฟ้า (R_p)	ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$)						ความถี่
1	4	120	2	3					320
		200	2						163
			3						157
		300	-						0
1	5	120	2	3	4				619
		200	2						163
			3						157
		300	-						0
1	6	120	2	3	4	5			852
		200	2	4					462
			2	5					396
			3	4					456
		300	3	5					390
			3						157
			4						299
5						233			
1	7	120	2	3	4	5	6		988
		200	2	5					396
			3	5					390
		300	4						299
			5						233

ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่ โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	ช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)	ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$)							ความถี่
			2	3	4	5	6	7		
1	8	120	2	3	4	5	6	7	1040	
		200	2	4	6				598	
			2	5	6				532	
			2	5	7				448	
			3	4	6				592	
			3	5	6				526	
			3	5	7				442	
		300	5						233	
1	9	120	2	3	4				619	
		200	3						157	
		300	2						163	
			3						157	
			4						299	
1	10	120	2	3	4				619	
		200	2	4					462	
			3	4					456	
			3	9					258	
		300	2						163	
			3						157	
			4						299	

ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่
โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการจับจีของรถยนต์
ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

โหนด ต้นทาง (i)	โหนด ปลายทาง (j)	ช่วงการจับจี ของรถยนต์ ไฟฟ้า (R_p)	ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allcslocation_{ij}$)						ความถี่
1	11	120	2	3	4	9			720
			2	3	4	10			756
		200	2	4					462
			3	4					456
			3	9					258
		300	3						157
			4						299
1	12	120	13	14	15	16	17		548
			13	14	15	16	18		521
		200	14	16					215
			14	17					215
		300	14						129
			15						105
1	13	120	-					0	
		200	-					0	
		300	-					0	
1	14	120	13					142	
		200	-					0	
		300	-					0	
1	15	120	13	14				271	
		200	13					142	
			14					129	
		300	-					0	

ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่
โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการจับจีของรถยนต์
ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

โหนด ต้นทาง (i)	โหนด ปลายทาง (j)	ช่วงการจับจี ของรถยนต์ ไฟฟ้า (R_p)	ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allclocation_{ij}$)						ความถี่
1	16	120	13	14	15				376
		200	14						129
		300	13						142
			14						129
			15						105
1	17	120	13	14	15	16			462
		200	14						129
		300	13						142
			14						129
			15						105
1	18	120	13	14	15	16			462
		200	13	15					247
			14	15					234
			14	16					215
			14	17					215
		300	14						129
			15						105
1	19	120	13	14	15	16	17		548
			13	14	15	16	18		521
		200	14	16					215
			14	17					215
		300	14						129
			15						105

ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่
โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า
(R_p) (ต่อ)

โหนด ต้นทาง (i)	โหนด ปลายทาง (j)	ช่วงการขับขี่ ของรถยนต์ ไฟฟ้า (R_p)	ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allcslocation_{ij}$)					ความถี่
1	20	120	-					0
		200	-					0
		300	-					0
1	21	120	-					0
		200	-					0
		300	-					0
2	3	120	-					0
		200	-					0
		300	-					0
...
4	16	120	9	11	12	18		460
			9	11	12	17		487
			10	11	12	18		496
			10	11	12	17		523
		200	10	12				260
			10	19				179
			11	12				300
			11	19				219
			11	18				236
		300	11	17				263
			11					177
			12					123
			19					42
...	

ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่ โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการจับจีของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	ช่วงการจับจีของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)	ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$)					ความถี่
20	21	120	-					0
		200	-					0
		300	-					0

4.3.7 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุด

จากการเลือกหนึ่งทางเลือกที่มีความถี่รวมสูงสุดสำหรับทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดของแต่ละโหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ให้ทางเลือกนี้ของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) โหนด เป็นจุดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ได้ผลลัพธ์ดังภาคผนวก จ ส่วนในตารางที่ 4.8 แสดงตัวอย่างผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการจับจีของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) หากเกิดกรณีที่มีความถี่มากที่สุดมีมากกว่า 1 ทางเลือก จะใช้การเปรียบเทียบผลรวมจำนวนประชากรของทางเลือกที่มีความถี่มากที่สุดเหล่านั้น โดยจะเลือกทางเลือกที่มีผลรวมประชากรมากที่สุด ในตารางที่ 4.1 เป็นจุดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า โดยในขั้นตอนการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุด ใช้การเขียนพัฒนาโปรแกรมใน Visual basic for applications (VBA) ช่วยในการคำนวณ ดังรูปที่ 4.10

สรุปได้ว่า เมื่อรถยนต์ไฟฟ้าเดินทางจากโหนดต้นทาง 1 ($i = 1$) ไปยังโหนดปลายทาง 12 ($j = 12$) บนวิถีสั้นสุด และช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้าเท่ากับ 200 กิโลเมตร ($R_p = 200$) จะต้องตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่โหนด 14 และ 17

ตารางที่ 4.8 ตัวอย่างผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)

โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	ช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)	โหนดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า						ความถี่
1	2	120	-						0
		200	-						0
		300	-						0
1	3	120	2						163
		200	-						0
		300	-						0
1	4	120	2	3					320
		200	2						163
		300	-						0
1	5	120	2	3	4				619
		200	2						163
		300	-						0
1	6	120	2	3	4	5			852
		200	2	4					462
		300	4						299
1	7	120	2	3	4	5	6		988
		200	2	5					396
		300	4						299

ตารางที่ 4.8 ตัวอย่างผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	ช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)	โหนดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
			2	3	4	5	6	7		
1	8	120	2	3	4	5	6	7	1040	
		200	2	4	6				598	
		300	5						233	
1	9	120	2	3	4				619	
		200	3						157	
		300	4						299	
1	10	120	2	3	4				619	
		200	2	4					462	
		300	4						299	
1	11	120	2	3	4	10			756	
		200	2	4					462	
		300	4						299	
1	12	120	13	14	15	16	17		548	
		200	14	16					215	
			14	17					215	
		300	14						129	
1	13	120	-						0	
		200	-						0	
		300	-						0	
1	14	120	13						142	
		200	-						0	
		300	-						0	

ตารางที่ 4.8 ตัวอย่างผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	ช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)	โหนดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า						ความถี่
1	15	120	13	14					271
		200	13						142
		300	-						0
1	16	120	13	14	15				376
		200	14						129
		300	13						142
1	17	120	13	14	15	16			462
		200	14						129
		300	13						142
1	18	120	13	14	15	16			462
		200	13	15					247
		300	14						129
1	19	120	13	14	15	16	17		548
		200	14	16					215
		300	14	17					215
		300	14						129
1	20	120	-						0
		200	-						0
		300	-						0
1	21	120	-						0
		200	-						0
		300	-						0

ตารางที่ 4.8 ตัวอย่างผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

โหนดต้นทาง (i)	โหนดปลายทาง (j)	ช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)	โหนดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า						ความถี่
2	3	120	-						0
		200	-						0
		300	-						0
...	
4	16	120	10	11	12	17			523
		200	11	12					300
		300	11						177
...	
20	21	120	-						0
		200	-						0
		300	-						0

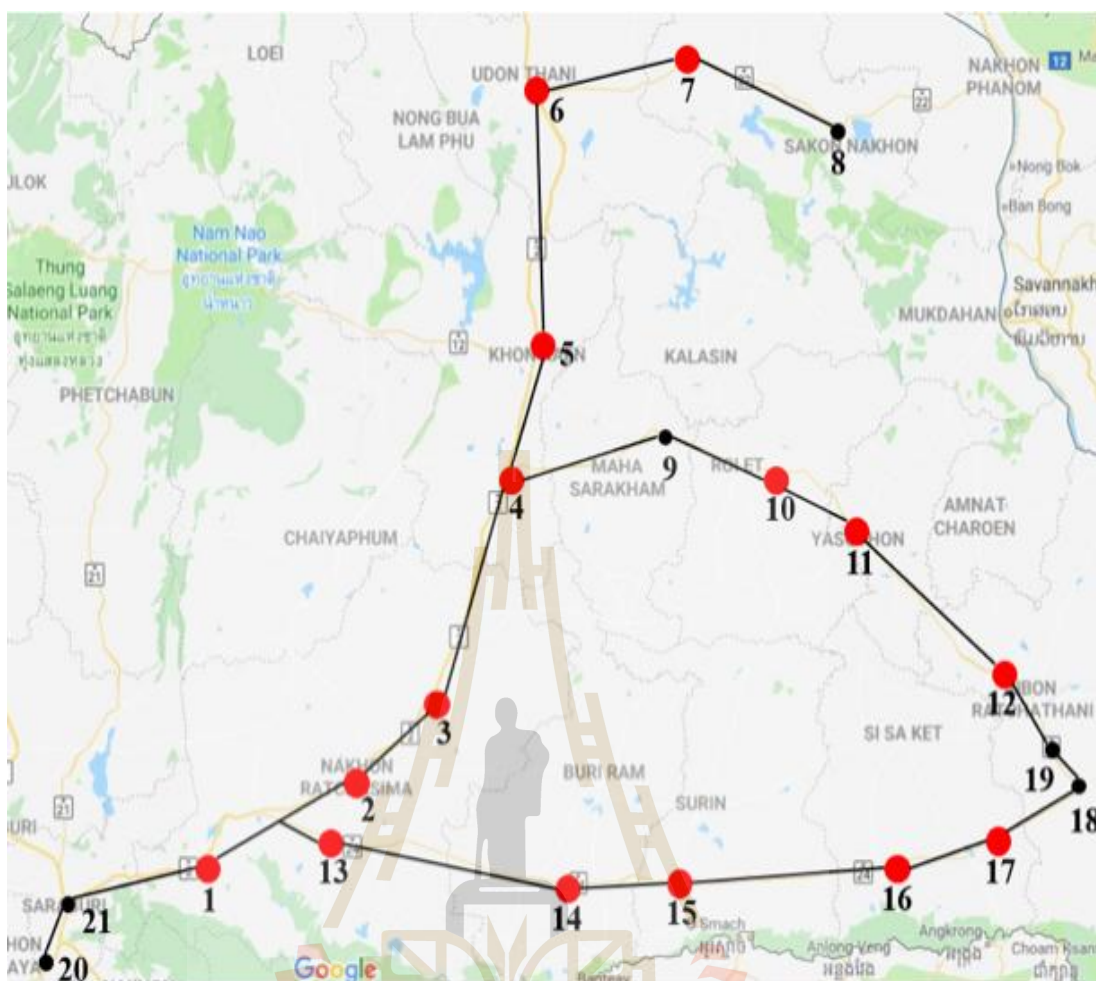
จากภาคผนวก จ นำมาคำนวณหาค่าความถี่ที่แต่ละโหนดถูกเลือกให้เป็นที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า สำหรับทุกคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) และทุกช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า คือ 120 กิโลเมตร ($R_1 = 120$) 200 กิโลเมตร ($R_2 = 200$) และ 300 กิโลเมตร ($R_3 = 300$) ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.9

จากค่าความถี่ในตารางที่ 4.9 พบว่า จะต้องตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่โหนด 1 2 3 4 5 6 7 10 11 12 13 14 15 16 และ 17 และไม่จำเป็นต้องตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่โหนด 8 9 18 19 20 และ 21 ดังรูปที่ 4.11 ทำให้รถยนต์สามารถเดินทางจากโหนดเริ่มต้นใด ๆ ไปยังจุดหมายปลายทางได้โดยมีสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้ารองรับเพื่อไม่ให้พลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่หมดระหว่างทาง และครอบคลุมรถยนต์ไฟฟ้าที่มีขนาดความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ไม่เท่ากัน (Multi-class vehicles) ได้แก่ รถยนต์ไฟฟ้าที่วิ่งได้ระยะทาง 120 กิโลเมตร รถยนต์ไฟฟ้าที่วิ่งได้ระยะทาง 200 กิโลเมตร และรถยนต์ไฟฟ้าที่วิ่งได้ระยะทาง 300 กิโลเมตร โดยค่าความถี่ของแต่ละจุดเมื่อพิจารณาช่วงการขับขี่รถยนต์ไฟฟ้าหลายช่วง แสดงให้เห็นถึงอัตราความถี่ที่รถยนต์ไฟฟ้าจะเข้าใช้

บริการสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละจุด และอาจสรุปได้ว่าสถานีที่มีค่าความถี่มากเป็นสถานีที่จะมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าใช้บริการบ่อยครั้ง และสามารถแนะนำให้ผู้ลงทุนสร้างสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่จุดนั้นให้มีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อรองรับกับปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าที่จะเข้าใช้บริการ

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความถี่ที่แต่ละโหนดถูกเลือกให้เป็นที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

โหนด	ค่าความถี่	โหนด	ค่าความถี่	โหนด	ค่าความถี่
1	45	8	0	15	38
2	110	9	0	16	32
3	60	10	49	17	44
4	190	11	93	18	0
5	85	12	53	19	0
6	54	13	80	20	0
7	19	14	69	21	0



รูปที่ 4.11 แสดงโหนดที่ตั้งสถานีขาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ที่ทำให้รถยนต์สามารถเดินทางจากโหนดเริ่มต้นใด ๆ ไปยังจุดหมายปลายทางได้โดยพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่ไม่หมดระหว่างทาง และครอบคลุมรถยนต์ไฟฟ้าที่มีขนาดความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ไม่เท่ากัน

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการหาจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมและครอบคลุม เพื่อรองรับการใช้รถยนต์ไฟฟ้าที่กำลังจะเพิ่มมากขึ้นในประเทศไทย และช่วยแก้ไขปัญหสถานีสถานีชาร์จไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าไม่เพียงพอ ขาดการวางแผนที่ดี อีกทั้งต้องการสนับสนุนนโยบายและแผนงานของทั้งภาครัฐและเอกชนในการสนับสนุนการใช้รถยนต์ไฟฟ้า งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการเลือกจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า บนเส้นทางหลวงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งได้แก่ทางหลวงหมายเลข 1, 2, 22, 23 และ 24 โดยมีทั้งหมด 21 จุดที่เป็นไปได้ในการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า และพิจารณาปัจจัยด้านขนาดความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ไม่เท่ากันสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละรุ่น (Multi-class vehicles) โดยแบ่งช่วงการขับขี่ต่อรอบการชาร์จไฟแบตเตอรี่ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ รถยนต์ไฟฟ้าที่วิ่งได้ระยะทาง 120 กิโลเมตร รถยนต์ไฟฟ้าที่วิ่งได้ระยะทาง 200 กิโลเมตร และรถยนต์ไฟฟ้าที่วิ่งได้ระยะทาง 300 กิโลเมตร และกำหนดให้ในปัจจุบันไม่มีสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าอื่น ๆ บนทางหลวงทุกสายที่ได้ศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์คือ เลือกจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสม และจำนวนน้อยที่สุดเพื่อการลงทุน โดยสามารถครอบคลุมรถยนต์ไฟฟ้าทุกช่วงการขับขี่ต่อรอบการชาร์จไฟแบตเตอรี่ และได้พัฒนาขั้นตอนวิธีทางคณิตศาสตร์แบบฮิวริสติกส์ในโปรแกรม MATLAB และ Visual basic for applications (VBA) เพื่อช่วยในการแก้ไขปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้ งานวิจัยนี้สรุปได้ว่าจะต้องตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่โหนด 1 2 3 4 5 6 7 10 11 12 13 14 15 16 และ 17 ทั้งหมด 15 จุด จึงจะทำให้รถยนต์สามารถเดินทางจากโหนดเริ่มต้นใด ๆ ไปยังจุดหมายปลายทางได้โดยมีสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้ารองรับเพื่อไม่ให้พลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่หมดระหว่างทาง และครอบคลุมทุกช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้าที่กำหนด โดยในงานวิจัยนี้ได้มีการแจกแจงทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด และตัดทางเลือกโดยใช้ค่าความถี่ของแต่ละโหนดถูกเลือกให้เป็นทางเลือกในการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า และในขั้นตอนสุดท้ายจะได้ค่าความถี่ของแต่ละโหนดถูกเลือกให้เป็นที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า โดยค่าความถี่ของแต่ละจุดเมื่อพิจารณาช่วงการขับขี่รถยนต์ไฟฟ้าหลายช่วง แสดงให้เห็นถึงอัตราความถี่ที่รถยนต์ไฟฟ้าจะเข้าใช้บริการสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละจุด และอาจสรุปได้ว่าสถานีที่มีค่าความถี่มากเป็นสถานีที่

จะมีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าใช้บริการบ่อยครั้ง และสามารถแนะนำให้ผู้ลงทุนสร้างสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่จุดนั้นให้มีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อรองรับกับปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าที่จะเข้าใช้บริการ

5.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัยต่อไป

งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการแก้ปัญหาสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่ไม่เพียงพอที่จะรองรับการใช้รถยนต์ไฟฟ้าที่กำลังจะเพิ่มมากขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ในการเลือกจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสม และจำนวนน้อยที่สุด โดยสามารถครอบคลุมรถยนต์ไฟฟ้าทุกช่วงการขับเคลื่อนการชาร์จไฟแบตเตอรี่ ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้สามารถหาจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า และจำนวนจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าน้อยที่สุด โดยสามารถครอบคลุมรถยนต์ไฟฟ้าทุกช่วงการขับเคลื่อนการชาร์จไฟแบตเตอรี่ได้บนเส้นทางหลวงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย แนวทางงานวิจัยต่อไป คือ ขยายขอบเขตการศึกษาโดยการนำไปประยุกต์ใช้กับเส้นทางหลวงของประเทศไทย และนอกจากปัจจัยด้านขนาดความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ไม่เท่ากันสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละรุ่นที่นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่น่าสนใจ เช่น การนำปัจจัยด้านความต้องการที่ไม่แน่นอนในแต่ละพื้นที่เข้ามาพิจารณาเพิ่มเติมด้วย เพื่อให้สามารถรองรับความต้องการใช้บริการสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าของแต่ละพื้นที่ได้

รายการอ้างอิง

- กระทรวงพลังงาน. (2559). รายงานผลการดำเนินงานของกระทรวงพลังงาน [ออนไลน์]. ได้จาก: <https://energy.go.th/2015/wp-content/uploads/2018/05/6รายงานผลการดำเนินงานของกระทรวงพลังงาน-คา.pdf>
- กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย. (2560). สถิติประชากรและบ้าน – จำนวนประชากรแยกอายุ [ออนไลน์]. ได้จาก: http://stat.dopa.go.th/stat/statnew/upstat_age.php
- กลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงาน กรมการขนส่งทางบก. (2562). จำนวนรถจดทะเบียนสะสม ณ วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2561 [ออนไลน์]. ได้จาก: <https://web.dlt.go.th/statistics/>
- เกรียงไกร แสนทวีสุข. (2550). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสภาวะโลกร้อน [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.wing2rtaf.net/department/weather/images/commander/2.4%20.pdf>
- คณะทำงานศึกษาและจัดทำแผนพัฒนา โครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย. (2559). รายงานแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้า เพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.eppo.go.th/images/Information_service/studyreport/EV_plan.pdf
- จันทร์ศิริ สิงห์เลื่อน. (2554). การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการด้วยวิธีการหาค่าตอบที่ดีที่สุด. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 107-122.
- ทีมข่าวทำความจริงให้ปรากฏ. (2558). อนาคต ‘รถยนต์ไฟฟ้า’ ไทยไปไม่ถึงฝัน? นโยบายไม่เอื้อ-ค่ายรถใหญ่ไม่เอาจริง [ออนไลน์]. ได้จาก: <https://www.tcijthai.com/news/2015/16/scoop/5737>
- ฝ่ายวิจัยนโยบาย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2560). อุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า [ออนไลน์]. ได้จาก: <https://waa.inter.nstda.or.th/prs/pub/EV.pdf>
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน. (2561). สถิติปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ในสาขาการขนส่ง ปี พ.ศ. 2537-2560 [ออนไลน์]. ได้จาก: [http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-co2/per-year?orders\[publishUp\]=publishUpandisearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-co2/per-year?orders[publishUp]=publishUpandisearch=1)
- Ahuja, R. K., Magnanti, T. L., and Orlin, J. B. (1988). **Network flows**. New Jersey: PRENTICE HALL:

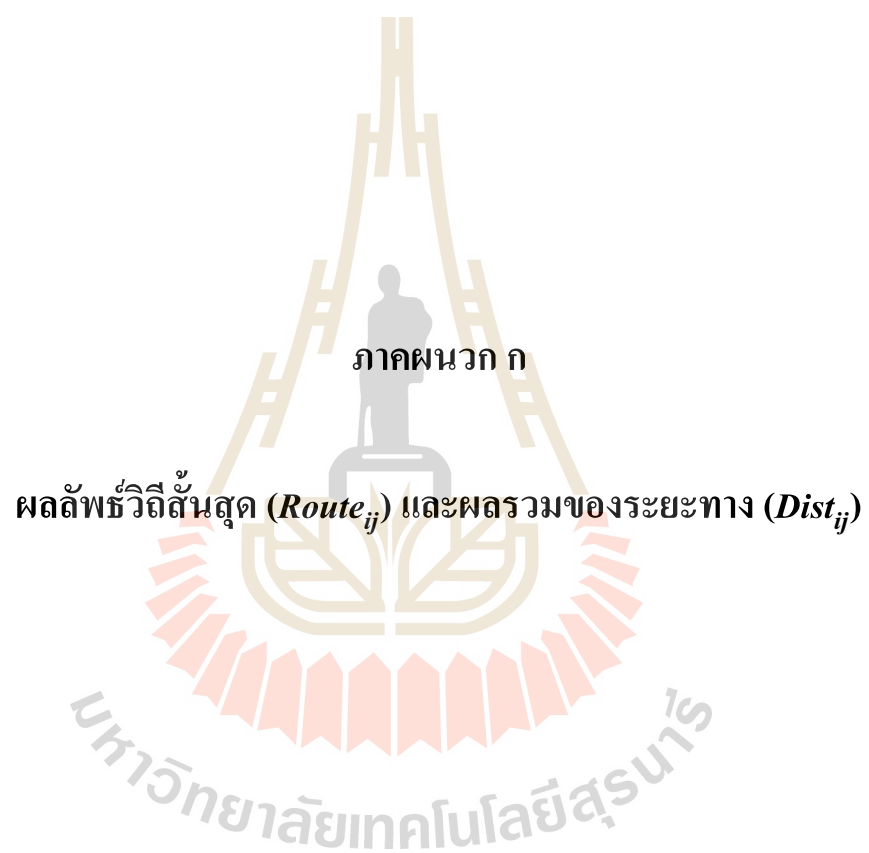
- Ahuja, R. K., Magnanti, T. L., and Orlin, J. B. (1988). **Network flows**. New Jersey: PRENTICE HALL:
- Andrews, M., Dogru, M. K., Hobby, J. D., Jin, Y., and Tucci, G. H. (2013). Modeling and optimization for electric vehicle charging infrastructure. **In IEEE innovative smart grid technologies conference** 1-10.
- Asamer, J., Reinthaler, M., Ruthmair, M., Straub, M., and Puchinger, J. (2016). Optimizing charging station locations for urban taxi providers. **Transportation Research Part A: Policy and Practice** 85: 233-246.
- Cai, H., Jia, X., Chiu, A. S., Hu, X., and Xu, M. (2014). Siting public electric vehicle charging stations in Beijing using big-data informed travel patterns of the taxi fleet. **Transportation Research Part D: Transport and Environment** 33: 39-46.
- Capar, I., Kuby, M., Leon, V. J., and Tsai, Y. J. (2013). An arc cover-path-cover formulation and strategic analysis of alternative-fuel station locations. **European Journal of Operational Research** 227(1): 142-151.
- Chung, S. H. and Kwon, C. (2015). Multi-period planning for electric car charging station locations: A case of Korean Expressways. **European Journal of Operational Research** 242(2): 677-687.
- Egbue, O. and Long, S. (2012). Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions. **Energy policy** 48: 717-729.
- Gao, Y., and Guo, Y. (2013). Optimal planning of charging station for phased electric vehicle. **Energy and Power Engineering** 5(04): 1393.
- He, F., Wu, D., Yin, Y., and Guan, Y. (2013). Optimal deployment of public charging stations for plug-in hybrid electric vehicles. **Transportation Research Part B: Methodological** 47: 87-101.
- Hess, A., Malandrino, F., Reinhardt, M. B., Casetti, C., Hummel, K. A., and Barceló-Ordinas, J. M. (2012). Optimal deployment of charging stations for electric vehicular networks. **In Proceedings of the first workshop on Urban networking** 1-6. ACM.

- Hof, J., Schneider, M., and Goeke, D. (2017). Solving the battery swap station location-routing problem with capacitated electric vehicles using an AVNS algorithm for vehicle-routing problems with intermediate stops. **Transportation Research Part B: Methodological** 97: 102-112.
- Huang, K., Kanaroglou, P., and Zhang, X. (2016). The design of electric vehicle charging network. **Transportation Research Part D: Transport and Environment** 49: 1-17.
- Hwang, S. W., Kweon, S. J., and Ventura, J. A. (2015). Infrastructure development for alternative fuel vehicles on a highway road system. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review** 77: 170-183.
- Hwang, S. W., Kweon, S. J., and Ventura, J. A. (2017). Locating alternative-fuel refueling stations on a multi-class vehicle transportation network. **European Journal of Operational Research** 261(3): 941-957.
- Jiao, Z., Ran, L., Chen, J., Meng, H., and Li, C. (2017). Data-driven approach to operation and location considering range anxiety of one-way electric vehicles sharing system. **Energy Procedia** 105: 2287-2294.
- Kang, N., Feinberg, F. M., and Papalambros, P. Y. (2015). Integrated decision making in electric vehicle and charging station location network design. **Journal of Mechanical Design** 137(6): 061402.
- Kim, J. G. and Kuby, M. (2012). The deviation-flow refueling location model for optimizing a network of refueling stations. **International journal of hydrogen energy** 37(6): 5406-5420.
- Lee, Y. G., Kim, H. S., Kho, S. Y., and Lee, C. (2014). UE-based location model of rapid charging stations for EVs with batteries that have different states-of-charge. In Proceedings of the **Transportation Research Board 93rd Annual Meeting**, Washington, DC, USA (pp. 12-16).
- Lim, S. and Kuby, M. (2010). Heuristic algorithms for siting alternative-fuel stations using the flow-refueling location model. **European Journal of Operational Research** 204(1): 51-61.
- Lin, Z., Ogden, J., Fan, Y., and Chen, C. W. (2008). The fuel-travel-back approach to hydrogen station siting. **International journal of hydrogen energy** 33(12): 3096-3101.

- Lo, H. K. and Tung, Y. K. (2003). Network with degradable links: capacity analysis and design. **Transportation Research Part B: Methodological** 37(4): 345-363.
- Micari, S., Polimeni, A., Napoli, G., Andaloro, L., and Antonucci, V. (2017). Electric vehicle charging infrastructure planning in a road network. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 80: 98-108.
- Miralinaghi, M., Keskin, B. B., Lou, Y., and Roshandeh, A. M. (2017). Capacitated refueling station location problem with traffic deviations over multiple time periods. **Networks and Spatial Economics** 17(1): 129-151.
- Miralinaghi, M., Lou, Y., Keskin, B. B., Zarrinmehr, A., and Shabanpour, R. (2017). Refueling station location problem with traffic deviation considering route choice and demand uncertainty. **International Journal of Hydrogen Energy** 42(5): 3335-3351.
- Nie, Y. M. and Ghamami, M. (2013). A corridor-centric approach to planning electric vehicle charging infrastructure. **Transportation Research Part B: Methodological** 57: 172-190.
- Owen, S. H. and Daskin, M. S. (1998). Strategic facility location: A review. **European journal of operational research** 111(3): 423-447.
- Pearre, N. S., Kempton, W., Guensler, R. L., and Elango, V. V. (2011). Electric vehicles: How much range is required for a day's driving?. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies** 19(6): 1171-1184.
- Shepherd, S., Bonsall, P., and Harrison, G. (2012). Factors affecting future demand for electric vehicles: A model based study. **Transport Policy** 20: 62-74.
- Stephens-Romero, S. D., Brown, T. M., Carreras-Sospedra, M., Kang, J. E., Brouwer, J., Dabdub, D., ... and Samuelson, G. S. (2011). Projecting full build-out environmental impacts and roll-out strategies associated with viable hydrogen fueling infrastructure strategies. **International journal of hydrogen energy** 36(22): 14309-14323.
- Upchurch, C., Kuby, M., and Lim, S. (2009). A model for location of capacitated alternative fuel stations. **Geographical Analysis** 41(1): 85-106.
- Ventura, J. A., Hwang, S. W., and Kweon, S. J. (2015). A continuous network location problem for a single refueling station on a tree. **Computers and Operations Research** 62: 257-265.

- Wang, D., Gao, J., Li, P., Wang, B., Zhang, C., and Saxena, S. (2017). Modeling of plug-in electric vehicle travel patterns and charging load based on trip chain generation. **Journal of Power Sources** 359: 468-479.
- Wang, Y. W. and Lin, C. C. (2009). Locating road-vehicle refueling stations. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review** 45(5): 821-829.
- Wang, Y. W. and Wang, C. R. (2010). Locating passenger vehicle refueling stations. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review** 46(5): 791-801.





ตารางที่ ก.1 ผลลัพธ์วิธีสั้นสุด ($Route_{ij}$) และผลรวมของระยะทาง ($Dist_{ij}$) ของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) (ต่อ)

i	j	$Route_{ij}$												$Dist_{ij}$
3	13	3	2	13										133.6
3	14	3	2	13	14									249.6
3	15	3	2	13	14	15								287.9
3	16	3	2	13	14	15	16							374.8
3	17	3	2	13	14	15	16	17						424.8
3	18	3	4	9	10	11	12	19	18					419.8
3	19	3	4	9	10	11	12	19						391.7
3	20	3	2	1	21	20								253.9
3	21	3	2	1	21									200.3
4	1	4	3	2	1									234.7
4	2	4	3	2										147.2
4	3	4	3											94.9
4	4	4												0
4	5	4	5											46.8
4	6	4	5	6										163.8
4	7	4	5	6	7									240.9
4	8	4	5	6	7	8								318.9
4	9	4	9											74.9
4	10	4	9	10										113
4	11	4	9	10	11									175.4
4	12	4	9	10	11	12								279.4
4	13	4	3	2	13									228.5
4	14	4	3	2	13	14								344.5
4	15	4	3	2	13	14	15							382.8
4	16	4	9	10	11	12	19	18	17	16				423.8
4	17	4	9	10	11	12	19	18	17					373.8
4	18	4	9	10	11	12	19	18						324.9

ตารางที่ ก.1 ผลลัพธ์วิธีสิ้นสุด ($Route_{ij}$) และผลรวมของระยะทาง ($Dist_{ij}$) ของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) (ต่อ)

i	j	$Route_{ij}$														$Dist_{ij}$
7	10	7	6	5	4	9	10									353.9
7	11	7	6	5	4	9	10	11								416.3
7	12	7	6	5	4	9	10	11	12							520.3
7	13	7	6	5	4	3	2	13								469.4
7	14	7	6	5	4	3	2	13	14							585.4
7	15	7	6	5	4	3	2	13	14	15						623.7
7	16	7	6	5	4	9	10	11	12	19	18	17	16			664.7
7	17	7	6	5	4	9	10	11	12	19	18	17				614.7
7	18	7	6	5	4	9	10	11	12	19	18					565.8
7	19	7	6	5	4	9	10	11	12	19						537.7
7	20	7	6	5	4	3	2	1	21	20						589.7
7	21	7	6	5	4	3	2	1	21							536.1
8	1	8	7	6	5	4	3	2	1							553.6
8	2	8	7	6	5	4	3	2								466.1
8	3	8	7	6	5	4	3									413.8
8	4	8	7	6	5	4										318.9
8	5	8	7	6	5											272.1
8	6	8	7	6												155.1
8	7	8	7													78
8	8	8														0
8	9	8	7	6	5	4	9									393.8
8	10	8	7	6	5	4	9	10								431.9
8	11	8	7	6	5	4	9	10	11							494.3
8	12	8	7	6	5	4	9	10	11	12						598.3
8	13	8	7	6	5	4	3	2	13							547.4
8	14	8	7	6	5	4	3	2	13	14						663.4
8	15	8	7	6	5	4	3	2	13	14	15					701.7

ตารางที่ ก.1 ผลลัพธ์วิธีสั้นสุด ($Route_{ij}$) และผลรวมของระยะทาง ($Dist_{ij}$) ของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) (ต่อ)

i	j	$Route_{ij}$														$Dist_{ij}$
15	4	15	14	13	2	3	4									382.8
15	5	15	14	13	2	3	4	5								429.6
15	6	15	14	13	2	3	4	5	6							546.6
15	7	15	14	13	2	3	4	5	6	7						623.7
15	8	15	14	13	2	3	4	5	6	7	8					701.7
15	9	15	16	17	18	19	12	11	10	9						435.8
15	10	15	16	17	18	19	12	11	10							397.7
15	11	15	16	17	18	19	12	11								335.3
15	12	15	16	17	18	19	12									231.3
15	13	15	14	13												154.3
15	14	15	14													38.3
15	15	15														0
15	16	15	16													86.9
15	17	15	16	17												136.9
15	18	15	16	17	18											185.8
15	19	15	16	17	18	19										213.9
15	20	15	14	13	1	21	20									349.9
15	21	15	14	13	1	21										296.3
16	1	16	15	14	13	1										322.7
16	2	16	15	14	13	2										322.5
16	3	16	15	14	13	2	3									374.8
16	4	16	17	18	19	12	11	10	9	4						423.8
16	5	16	17	18	19	12	11	10	9	4	5					470.6
16	6	16	17	18	19	12	11	10	9	4	5	6				587.6
16	7	16	17	18	19	12	11	10	9	4	5	6	7			664.7
16	8	16	17	18	19	12	11	10	9	4	5	6	7	8		742.7
16	9	16	17	18	19	12	11	10	9							348.9

ตารางที่ ก.1 ผลลัพธ์วิถีสั้นสุด ($Route_{ij}$) และผลรวมของระยะทาง ($Dist_{ij}$) ของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) (ต่อ)

i	j	$Route_{ij}$												$Dist_{ij}$	
17	16	17	16												50
17	17	17													0
17	18	17	18												48.9
17	19	17	18	19											77
17	20	17	16	15	14	13	1	21	20						486.8
17	21	17	16	15	14	13	1	21							433.2
18	1	18	17	16	15	14	13	1							421.6
18	2	18	17	16	15	14	13	2							421.4
18	3	18	19	12	11	10	9	4	3						419.8
18	4	18	19	12	11	10	9	4							324.9
18	5	18	19	12	11	10	9	4	5						371.7
18	6	18	19	12	11	10	9	4	5	6					488.7
18	7	18	19	12	11	10	9	4	5	6	7				565.8
18	8	18	19	12	11	10	9	4	5	6	7	8			643.8
18	9	18	19	12	11	10	9								250
18	10	18	19	12	11	10									211.9
18	11	18	19	12	11										149.5
18	12	18	19	12											45.5
18	13	18	17	16	15	14	13								340.1
18	14	18	17	16	15	14									224.1
18	15	18	17	16	15										185.8
18	16	18	17	16											98.9
18	17	18	17												48.9
18	18	18													0
18	19	18	19												28.1
18	20	18	17	16	15	14	13	1	21	20					535.7
18	21	18	17	16	15	14	13	1	21						482.1

ตารางที่ ก.1 ผลลัพธ์วิธีสั้นสุด ($Route_{ij}$) และผลรวมของระยะทาง ($Dist_{ij}$) ของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) (ต่อ)

i	j	$Route_{ij}$												$Dist_{ij}$	
19	1	19	18	17	16	15	14	13	1						449.7
19	2	19	12	11	10	9	4	3	2						444
19	3	19	12	11	10	9	4	3							391.7
19	4	19	12	11	10	9	4								296.8
19	5	19	12	11	10	9	4	5							343.6
19	6	19	12	11	10	9	4	5	6						460.6
19	7	19	12	11	10	9	4	5	6	7					537.7
19	8	19	12	11	10	9	4	5	6	7	8				615.7
19	9	19	12	11	10	9									221.9
19	10	19	12	11	10										183.8
19	11	19	12	11											121.4
19	12	19	12												17.4
19	13	19	18	17	16	15	14	13							368.2
19	14	19	18	17	16	15	14								252.2
19	15	19	18	17	16	15									213.9
19	16	19	18	17	16										127
19	17	19	18	17											77
19	18	19	18												28.1
19	19	19													0
19	20	19	18	17	16	15	14	13	1	21	20				563.8
19	21	19	18	17	16	15	14	13	1	21					510.2
20	1	20	21	1											114.1
20	2	20	21	1	2										201.6
20	3	20	21	1	2	3									253.9
20	4	20	21	1	2	3	4								348.8
20	5	20	21	1	2	3	4	5							395.6
20	6	20	21	1	2	3	4	5	6						512.6

ตารางที่ ก.1 ผลลัพธ์วิธีสั้นสุด ($Route_{ij}$) และผลรวมของระยะทาง ($Dist_{ij}$) ของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) (ต่อ)

i	j	$Route_{ij}$												$Dist_{ij}$	
20	7	20	21	1	2	3	4	5	6	7					589.7
20	8	20	21	1	2	3	4	5	6	7	8				667.7
20	9	20	21	1	2	3	4	9							423.7
20	10	20	21	1	2	3	4	9	10						461.8
20	11	20	21	1	2	3	4	9	10	11					524.2
20	12	20	21	1	13	14	15	16	17	18	19	12			581.2
20	13	20	21	1	13										195.6
20	14	20	21	1	13	14									311.6
20	15	20	21	1	13	14	15								349.9
20	16	20	21	1	13	14	15	16							436.8
20	17	20	21	1	13	14	15	16	17						486.8
20	18	20	21	1	13	14	15	16	17	18					535.7
20	19	20	21	1	13	14	15	16	17	18	19				563.8
20	20	20													0
20	21	20	21												53.6
21	1	21	1												60.5
21	2	21	1	2											148
21	3	21	1	2	3										200.3
21	4	21	1	2	3										295.2
21	5	21	1	2	3	4	5								342
21	6	21	1	2	3	4	5	6							459
21	7	21	1	2	3	4	5	6	7						536.1
21	8	21	1	2	3	4	5	6	7	8					614.1
21	9	21	1	2	3	4	9								370.1
21	10	21	1	2	3	4	9	10							408.2
21	11	21	1	2	3	4	9	10	11						470.6
21	12	21	1	13	14	15	16	17	18	19	12				527.6

ตารางที่ ก.1 ผลลัพธ์วิธีสั้นสุด ($Route_{ij}$) และผลรวมของระยะทาง ($Dist_{ij}$) ของแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) (ต่อ)

i	j	$Route_{ij}$											$Dist_{ij}$	
21	13	21	1	13										142
21	14	21	1	13	14									258
21	15	21	1	13	14	15								296.3
21	16	21	1	13	14	15	16							383.2
21	17	21	1	13	14	15	16	17						433.2
21	18	21	1	13	14	15	16	17	18					482.1
21	19	21	1	13	14	15	16	17	18	19				510.2
21	20	21	20											53.6
21	21	21												0





ภาคผนวก ข

ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า
(*Choosed_{ij}*) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จ
รถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij})

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$										
1	2	120	0	0										
		200	0	0										
		300	0	0										
1	3	120	1	0	2									
		200	0	0										
		300	0	0										
1	4	120	2	0	2	3								
		200	1	0	0	3								
		300	0	0										
1	5	120	3	0	2	3	4							
		200	1	0	0	3								
		300	0	0										
1	6	120	4	0	2	3	4	5						
		200	2	0	0	3	0	5						
		300	1	0	0	0	0	5						
1	7	120	5	0	2	3	4	5	6					
		200	2	0	0	3	0	5						
		300	1	0	0	0	0	5						
1	8	120	6	0	2	3	4	5	6	7				
		200	3	0	0	3	0	5	0	7				
		300	1	0	0	0	0	5						
1	9	120	3	0	2	3	4							
		200	1	0	0	3								
		300	1	0	0	0	4							

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$											
6	5	120	0	0											
		200	0	0											
		300	0	0											
6	7	120	0	0											
		200	0	0											
		300	0	0											
6	8	120	1	0	7										
		200	0	0											
		300	0	0											
6	9	120	2	0	5	4									
		200	1	0	0	4									
		300	0	0											
6	10	120	2	0	5	4									
		200	1	0	0	4									
		300	0	0											
6	11	120	3	0	5	4	0	10							
		200	1	0	0	4									
		300	1	0	0	0	0	0	10						
6	12	120	4	0	5	4	0	10	11						
		200	2	0	0	4	0	0	11						
		300	1	0	0	0	0	0	10						
6	13	120	4	0	5	4	3	2							
		200	2	0	0	4	0	2							
		300	1	0	0	0	3								

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$											
7	1	120	5	0	6	5	4	3	2						
		200	2	0	0	5	0	0	2						
		300		0											
7	2	120	4	0	6	5	4	3							
		200	1	0	0	5									
		300	1	0	0	0	4								
7	3	120	3	0	6	5	4								
		200	1	0	0	5									
		300	1	0	0	0	4								
7	4	120	2	0	6	5									
		200	1	0	0	5									
		300	1	0	0	0	4								
7	5	120	1	0	6										
		200	0	0											
		300	0	0											
7	6	120	0	0											
		200	0	0											
		300	0	0											
7	8	120	0	0											
		200	0	0											
		300	0	0											
7	9	120	3	0	6	5	4								
		200	1	0	0	5									
		300	1	0	0	0	4								

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$											
7	10	120	3	0	6	5	4								
		200	1	0	0	5									
		300	1	0	0	0	4								
7	11	120	4	0	6	5	4	0	10						
		200	2	0	0	5	0	0	10						
		300	1	0	0	0	4								
7	12	120	5	0	6	5	4	0	10	11					
		200	2	0	0	5	0	0	10						
		300	1	0	0	0	4								
7	13	120	5	0	6	5	4	3	2						
		200	2	0	0	5	0	0	2						
		300	1	0	0	0	4								
7	14	120	6	0	6	5	4	3	2	13					
		200	2	0	0	5	0	0	2						
		300	2	0	0	0	4	0	0	13					
7	15	120	7	0	6	5	4	3	2	13	14				
		200	3	0	0	5	0	0	2	0	14				
		300	2	0	0	0	4	0	0	13					
7	16	120	7	0	6	5	4	0	10	11	12	0	0	17	
		200	3	0	0	5	0	0	10	0	0	19			
		300	2	0	0	0	4	0	0	0	0	19			
7	17	120	6	0	6	5	4	0	10	11	12				
		200	3	0	0	5	0	0	10	0	0	19			
		300	2	0	0	0	4	0	0	0	0	19			

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$												
7	18	120	6	0	6	5	4	0	10	11	12					
		200	3	0	0	5	0	0	10	0	0	19				
		300	2	0	0	0	4	0	0	0	0	19				
7	19	120	6	0	6	5	4	0	10	11	12					
		200	2	0	0	5	0	0	10							
		300	1	0	0	0	4									
7	20	120	6	0	6	5	4	3	2	1						
		200	3	0	0	5	0	0	2	0	21					
		300	2	0	0	0	4	0	0	0	21					
7	21	120	6	0	6	5	4	3	2	1						
		200	2	0	0	5	0	0	2							
		300	1	0	0	0	4									
8	1	120	6	0	7	6	5	4	3	2						
		200	3	0	0	6	0	4	0	2						
		300	1	0	0	0	5									
8	2	120	5	0	7	6	5	4	3							
		200	2	0	0	6	0	4								
		300	1	0	0	0	5									
8	3	120	4	0	7	6	5	4								
		200	2	0	0	6	0	4								
		300	1	0	0	0	5									
8	4	120	3	0	7	6	5									
		200	1	0	0	6										
		300	1	0	0	0	5									

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$											
8	14	120	7	0	7	6	5	4	3	2	13				
		200	3	0	0	6	0	4	0	2					
		300	2	0	0	0	5	0	0	0	13				
8	15	120	8	0	7	6	5	4	3	2	13	14			
		200	4	0	0	6	0	4	0	2	0	14			
		300	2	0	0	0	5	0	0	0	13				
8	16	120	8	0	7	6	5	4	0	10	11	12	0	0	17
		200	4	0	0	6	0	4	0	0	11	0	0	0	17
		300	2	0	0	0	5	0	0	0	11				
8	17	120	7	0	7	6	5	4	0	10	11	12			
		200	3	0	0	6	0	4	0	0	11				
		300	2	0	0	0	5	0	0	0	11				
8	18	120	7	0	7	6	5	4	0	10	11	12			
		200	3	0	0	6	0	4	0	0	11				
		300	2	0	0	0	5	0	0	0	11				
8	19	120	7	0	7	6	5	4	0	10	11	12			
		200	3	0	0	6	0	4	0	0	11				
		300	2	0	0	0	5	0	0	0	11				
8	20	120	7	0	7	6	5	4	3	2	1				
		200	4	0	0	6	0	4	0	2	0	21			
		300	2	0	0	0	5	0	0	0	1				
8	21	120	7	0	7	6	5	4	3	2	1				
		200	3	0	0	6	0	4	0	2					
		300	2	0	0	0	5	0	0	0	1				

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$										
9	1	120	3	0	4	3	2							
		200	1	0	0	3								
		300	1	0	0	0	2							
9	2	120	2	0	4	3								
		200	1	0	0	3								
		300	0	0										
9	3	120	1	0	4									
		200	0	0										
		300	0	0										
9	4	120	0	0										
		200	0	0										
		300	0	0										
9	5	120	1	0	4									
		200	0	0										
		300	0	0										
9	6	120	2	0	4	5								
		200	1	0	0	5								
		300	0	0										
9	7	120	3	0	4	5	6							
		200	1	0	0	5								
		300	1	0	0	0	6							
9	8	120	4	0	4	5	6	7						
		200	2	0	0	5	0	7						
		300	1	0	0	0	6							

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$											
10	14	120	5	0	11	12	0	0	17	16	15				
		200	2	0	0	0	19	0	0	16					
		300	1	0	0	0	0	0	17						
10	15	120	4	0	11	12	0	0	17	16					
		200	2	0	0	0	19	0	0	16					
		300	1	0	0	0	0	0	17						
10	16	120	3	0	11	12	0	0	17						
		200	1	0	0	0	19								
		300	1	0	0	0	0	0	17						
10	17	120	2	0	11	12									
		200	1	0	0	0	19								
		300	0	0											
10	18	120	2	0	11	12									
		200	1	0	0	0	19								
		300	0	0											
10	19	120	2	0	11	12									
		200	0	0											
		300	0	0											
10	20	120	4	0	0	4	3	2	1						
		200	3	0	0	4	0	2	0	21					
		300	1	0	0	0	0	2							
10	21	120	4	0	0	4	3	2	1						
		200	2	0	0	4	0	2							
		300	1	0	0	0	0	2							

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$											
11	1	120	4	0	0	9	4	3	2						
		200	2	0	0	0	4	0	2						
		300	1	0	0	0	0	3							
11	2	120	3	0	0	9	4	3							
		200	1	0	0	0	4								
		300	1	0	0	0	0	3							
11	3	120	2	0	0	9	4								
		200	1	0	0	0	4								
		300	0	0											
11	4	120	1	0	0	9									
		200	0	0											
		300	0	0											
11	5	120	2	0	0	9	4								
		200	1	0	0	0	4								
		300	0	0											
11	6	120	3	0	0	9	4	5							
		200	1	0	0	0	4								
		300	1	0	0	0	0	5							
11	7	120	4	0	0	9	4	5	6						
		200	2	0	0	0	4	0	6						
		300	1	0	0	0	0	5							
11	8	120	5	0	0	9	4	5	6	7					
		200	2	0	0	0	4	0	6						
		300	1	0	0	0	0	5							

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$											
12	14	120	3	0	0	0	17	16	15						
		200	1	0	0	0	0	16							
		300	0	0											
12	15	120	2	0	0	0	17	16							
		200	1	0	0	0	0	16							
		300	0	0											
12	16	120	1	0	0	0	17								
		200	0	0											
		300	0	0											
12	17	120	0	0											
		200	0	0											
		300	0	0											
12	18	120	0	0											
		200	0	0											
		300	0	0											
12	19	120	0	0											
		200	0	0											
		300	0	0											
12	20	120	6	0	0	0	17	16	15	14	13	1			
		200	3	0	0	0	0	16	0	14	0	1			
		300	2	0	0	0	0	0	0	14	0	0	21		
12	21	120	6	0	0	0	17	16	15	14	13	1			
		200	3	0	0	0	0	16	0	14	0	1			
		300	1	0	0	0	0	0	0	14					

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$											
13	1	120	0	0											
		200	0	0											
		300	0	0											
13	2	120	0	0											
		200	0	0											
		300	0	0											
13	3	120	1	0	2										
		200	0	0											
		300	0	0											
13	4	120	2	0	2	3									
		200	1	0	0	3									
		300	0	0											
13	5	120	3	0	2	3	4								
		200	1	0	0	3									
		300	0	0											
13	6	120	4	0	2	3	4	5							
		200	2	0	0	3	0	5							
		300	1	0	0	0	0	5							
13	7	120	5	0	2	3	4	5	6						
		200	2	0	0	3	0	5							
		300	1	0	0	0	0	5							
13	8	120	6	0	2	3	4	5	6	7					
		200	3	0	0	3	0	5	0	7					
		300	1	0	0	0	0	5							

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$														
15	1	120	2	0	14	13												
		200	1	0	0	13												
		300	0	0														
15	2	120	2	0	14	13												
		200	1	0	0	13												
		300	0	0														
15	3	120	3	0	14	13	2											
		200	1	0	0	13												
		300	0	0														
15	4	120	4	0	14	13	2	3										
		200	2	0	0	13	0	3										
		300	1	0	0	0	0	3										
15	5	120	5	0	14	13	2	3	4									
		200	2	0	0	13	0	3										
		300	1	0	0	0	0	3										
15	6	120	6	0	14	13	2	3	4	5								
		200	3	0	0	13	0	3	0	5								
		300	1	0	0	0	0	3										
15	7	120	7	0	14	13	2	3	4	5	6							
		200	3	0	0	13	0	3	0	5								
		300	2	0	0	0	0	3	0	0	6							
15	8	120	8	0	14	13	2	3	4	5	6	7						
		200	4	0	0	13	0	3	0	5	0	7						
		300	2	0	0	0	0	3	0	0	6							

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$											
15	18	120	1	0	16										
		200	0	0											
		300	0	0											
15	19	120	2	0	16	0	18								
		200	1	0	0	0	18								
		300	0	0											
15	20	120	3	0	14	13	1								
		200	1	0	0	13									
		300	1	0	0	0	0	21							
15	21	120	3	0	14	13	1								
		200	1	0	0	13									
		300	0	0											
16	1	120	3	0	15	14	13								
		200	1	0	0	14									
		300	1	0	0	0	13								
16	2	120	3	0	15	14	13								
		200	1	0	0	14									
		300	1	0	0	0	13								
16	3	120	4	0	15	14	13	2							
		200	2	0	0	14	0	2							
		300	1	0	0	0	13								
16	4	120	4	0	0	18	0	12	11	0	9				
		200	2	0	0	0	0	12	0	10					
		300	1	0	0	0	0	0	11						

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$										
17	1	120	4	0	16	15	14	13						
		200	1	0	0	0	14							
		300	1	0	0	0	0	13						
17	2	120	4	0	16	15	14	13						
		200	1	0	0	0	14							
		300	1	0	0	0	0	13						
17	3	120	5	0	16	15	14	13	2					
		200	2	0	0	0	14	0	2					
		300	1	0	0	0	0	13						
17	4	120	3	0	0	0	12	11	0	9				
		200	1	0	0	0	0	11						
		300	1	0	0	0	0	0	0	9				
17	5	120	4	0	0	0	12	11	0	9	4			
		200	2	0	0	0	0	11	0	0	4			
		300	1	0	0	0	0	0	0	9				
17	6	120	5	0	0	0	12	11	0	9	4	5		
		200	2	0	0	0	0	11	0	0	4			
		300	1	0	0	0	0	0	0	9				
17	7	120	6	0	0	0	12	11	0	9	4	5	6	
		200	3	0	0	0	0	11	0	0	4	0	6	
		300	2	0	0	0	0	0	0	9	0	0	6	
17	8	120	7	0	0	0	12	11	0	9	4	5	6	7
		200	3	0	0	0	0	11	0	0	4	0	6	
		300	2	0	0	0	0	0	0	9	0	0	6	

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$											
17	18	120	0	0											
		200	0	0											
		300	0	0											
17	19	120	0	0											
		200	0	0											
		300	0	0											
17	20	120	5	0	16	15	14	13	1						
		200	2	0	0	0	14	0	1						
		300	1	0	0	0	0	13							
17	21	120	5	0	16	15	14	13	1						
		200	2	0	0	0	14	0	1						
		300	1	0	0	0	0	13							
18	1	120	4	0	0	16	15	14	13						
		200	2	0	0	0	15	0	13						
		300	1	0	0	0	0	14							
18	2	120	4	0	0	16	15	14	13						
		200	2	0	0	0	15	0	13						
		300	1	0	0	0	0	14							
18	3	120	4	0	0	12	11	0	9	4					
		200	2	0	0	0	11	0	0	4					
		300	1	0	0	0	0	0	9						
18	4	120	3	0	0	12	11	0	9						
		200	1	0	0	0	11								
		300	1	0	0	0	0	0	9						

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$											
19	1	120	5	0	0	17	16	15	14	13					
		200	2	0	0	0	16	0	14						
		300	1	0	0	0	0	0	14						
19	2	120	5	0	12	11	0	9	4	3					
		200	2	0	0	0	10	0	4						
		300	1	0	0	0	0	0	4						
19	3	120	4	0	12	11	0	9	4						
		200	2	0	0	0	10	0	4						
		300	1	0	0	0	0	0	4						
19	4	120	3	0	12	11	0	9							
		200	1	0	0	0	10								
		300	0	0											
19	5	120	4	0	12	11	0	9	4						
		200	1	0	0	0	10								
		300	1	0	0	0	0	0	4						
19	6	120	5	0	12	11	0	9	4	5					
		200	2	0	0	0	10	0	0	5					
		300	1	0	0	0	0	0	4						
19	7	120	6	0	12	11	0	9	4	5	6				
		200	2	0	0	0	10	0	0	5					
		300	1	0	0	0	0	0	4						
19	8	120	7	0	12	11	0	9	4	5	6	7			
		200	3	0	0	0	10	0	0	5	0	7			
		300	2	0	0	0	0	0	4	0	0	7			

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$												
19	17	120	0	0												
		200	0	0												
		300	0	0												
19	18	120	0	0												
		200	0	0												
		300	0	0												
19	20	120	6	0	0	17	16	15	14	13	1					
		200	3	0	0	0	16	0	14	0	1					
		300	2	0	0	0	0	0	14	0	0	21				
19	21	120	6	0	0	17	16	15	14	13	1					
		200	3	0	0	0	16	0	14	0	1					
		300	1	0	0	0	0	0	14							
20	1	120	0	0												
		200	0	0												
		300	0	0												
20	2	120	1	0	0	1										
		200	1	0	0	1										
		300	0	0												
20	3	120	2	0	0	1	2									
		200	1	0	0	1										
		300	0	0												
20	4	120	3	0	0	1	2	3								
		200	2	0	0	1	0	3								
		300	1	0	0	0	0	3								

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$											
20	5	120	4	0	0	1	2	3	4						
		200	2	0	0	1	0	3							
		300	1	0	0	0	0	3							
20	6	120	5	0	0	1	2	3	4	5					
		200	3	0	0	1	0	3	0	5					
		300	1	0	0	0	0	3							
20	7	120	6	0	0	1	2	3	4	5	6				
		200	3	0	0	1	0	3	0	5					
		300	2	0	0	0	0	3	0	0	6				
20	8	120	7	0	0	1	2	3	4	5	6	7			
		200	4	0	0	1	0	3	0	5	0	7			
		300	2	0	0	0	0	3	0	0	6				
20	9	120	4	0	0	1	2	3	4						
		200	2	0	0	1	0	3							
		300	1	0	0	0	0	3							
20	10	120	4	0	0	1	2	3	4						
		200	3	0	0	1	0	3	0	9					
		300	1	0	0	0	0	3							
20	11	120	5	0	0	1	2	3	4	0	10				
		200	3	0	0	1	0	3	0	9					
		300	1	0	0	0	0	3							
20	12	120	6	0	0	1	13	14	15	16	0	18			
		200	3	0	0	0	13	0	15	0	0	18			
		300	2	0	0	0	13	0	0	0	17				

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$													
21	1	120	0	0													
		200	0	0													
		300	0	0													
21	2	120	1	0	1												
		200	0	0													
		300	0	0													
21	3	120	2	0	1	2											
		200	1	0	0	2											
		300	0	0													
21	4	120	3	0	1	2	3										
		200	1	0	0	2											
		300	0	0													
21	5	120	4	0	1	2	3	4									
		200	1	0	0	2											
		300	1	0	0	0	0	4									
21	6	120	5	0	1	2	3	4	5								
		200	2	0	0	2	0	0	5								
		300	1	0	0	0	0	4									
21	7	120	6	0	1	2	3	4	5	6							
		200	2	0	0	2	0	0	5								
		300	1	0	0	0	0	4									
21	8	120	7	0	1	2	3	4	5	6	7						
		200	3	0	0	2	0	0	5	0	7						
		300	2	0	0	0	0	4	0	0	7						

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์โหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ($Choosed_{ij}$) และจำนวนโหนดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในตัวแปรอาร์เรย์ (n_{ij}) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Choosed_{ij}$											
21	17	120	5	0	1	13	14	15	16						
		200	2	0	0	13	0	15							
		300	1	0	0	0	0	15							
21	18	120	5	0	1	13	14	15	16						
		200	2	0	0	13	0	15							
		300	1	0	0	0	0	15							
21	19	120	6	0	1	13	14	15	16	0	18				
		200	3	0	0	13	0	15	0	0	18				
		300	1	0	0	0	0	15							
21	20	120	0	0											
		200	0	0											
		300	0	0											



ภาคผนวก ค

ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด

(*Allcslocation_{ij}*)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allcslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allcslocation_{ij}$								
1	7	120	5	2	3	4	5	6				
		200	2	2	5							
				3	5							
		300	1	4								
				5								
		1	8	120	6	2	3	4	5	6	7	
200	3			2	4	6						
				2	5	6						
				2	5	7						
				3	4	6						
				3	5	6						
				3	5	7						
300	1			5								
1	9	120	3	2	3	4						
		200	1	3								
		300	1	2								
				3								
1	10	120	3	2	3	4						
		200	2	2	4							
				3	4							
				3	9							
		300	1	2								
				3								
4												

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$							
1	11	120	4	2	3	4	9				
				2	3	4	10				
		200	2	2	4						
				3	4						
		300	1	3	9						
				3	4						
1	12	120	5	13	14	15	16	17			
				13	14	15	16	18			
		200	2	14	16						
				14	17						
		300	1	14							
				15							
1	13	120	0	-							
		200	0	-							
		300	0	-							
1	14	120	1	13							
		200	0	-							
		300	0	-							
1	15	120	2	13	14						
		200	1	13							
				14							
300	0	-									

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allcslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allcslocation_{ij}$								
1	16	120	3	13	14	15						
		200	1	14								
		300	1	13								
				14								
				15								
		1	17	120	4	13	14	15	16			
200	1			14								
300	1			13								
				14								
				15								
1	18			120	4	13	14	15	16			
		200	2	13	15							
				14	15							
				14	16							
				14	17							
		300	1	14								
15												
1	19	120	5	13	14	15	16	17				
				13	14	15	16	18				
		200	2	14	16							
				14	17							
		300	1	14								
				15								
1	20	120	0	-								
		200	0	-								
		300	0	-								

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$							
2	8	120	5	3	4	5	6	7			
		200	2	4	6						
				5	6						
				5	7						
300	1	5									
2	9	120	2	3	4						
		200	1	3							
				4							
300	0	-									
2	10	120	2	3	4						
		200	1	4							
		300	0	-							
2	11	120	3	3	4	9					
				3	4	10					
		200	1	4							
				3							
		300	1	4							
				9							
10											
2	12	120	4	3	4	9	11				
				3	4	10	11				
		200	2	4	10						
				4	11						
		300	1	4							
				9							
10											

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allcslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allcslocation_{ij}$							
2	18	120	4	13	14	15	16				
		200	2	13	15						
				14	15						
				14	16						
				14	17						
		300	1	14							
15											
2	19	120	5	3	4	9	11	12			
				3	4	10	11	12			
		200	2	4	10						
				4	11						
		300	1	4							
				9							
		10									
2	20	120	1	1							
		200	1	1							
				21							
300	0										
2	21	120	1	1							
		200	0	-							
		300	0	-							
3	4	120	0	-							
		200	0	-							
		300	0	-							

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allcslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allcslocation_{ij}$							
3	11	120	2	4	9						
				4	10						
		200	1	4							
				9							
		300	0	-							
3	12	120	3	4	9	11					
				4	10	11					
		200	2	4	10						
				4	11						
				9	10						
				9	11						
300	1	4									
		9									
		10									
		11									
3	13	120	1	2							
		200	0	-							
		300	0	-							
3	14	120	2	2	13						
		200	1	2							
				13							
300	0	-									
3	15	120	3	2	13	14					
		200	1	13							
		300	0	-							

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$							
3	16	120	4	2	13	14	15				
				2	14						
				13	14						
		200	2	13	15						
				13							
				15							
		300	1	13							
				14							
				15							
3	17	120	5	2	13	14	15	16			
				2	14						
				13	14						
		200	2	13	15						
				13							
				15							
		300	1	13							
				14							
				15							
3	18	120	4	4	9	11	12				
				4	10	11	12				
		200	2	4	11						
				9	11						
		300	1	9							
				10							
				11							

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allcslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allcslocation_{ij}$							
4	7	120	2	5	6						
		200	1	5							
				6							
300	0	-									
4	8	120	3	5	6	7					
		200	1	6							
		300	1	5							
				6							
7											
4	9	120	0	-							
		200	0	-							
		300	0	-							
4	10	120	0	-							
		200	0	-							
		300	0	-							
4	11	120	1	9							
				10							
		200	0	-							
		300	0	-							
4	12	120	2	9	11						
				10	11						
		200	1	10							
				11							
		300	0	-							

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$									
4	18	120	3	9	11	12							
				10	11	12							
		200	1	11									
				300	1	9							
		10											
		11											
		12											
		4	19	120	3	9	11	12					
						10	11	12					
				200	1	10							
11													
300	0			-									
				4	20	120	3	3	2	1			
3	1												
200	2	2	1										
		2	21										
300	1	3											
		2											
1													
21													
4	21	120	3	3	2	1							
		200	1	2									
		300	0	-									

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$								
5	12	120	3	4	9	11						
				4	10	11						
		200	1	10								
				4								
		300	1	9								
				10								
11												
5	13	120	3	4	3	2						
		200	1	3								
				2								
300	0	-										
5	14	120	4	4	3	2	13					
		200	1	2								
				3								
		300	1	2								
13												
5	15	120	5	4	3	2	13	14				
				3	13							
		200	2	2	13							
				2	14							
		300	1	3								
				2								
13												

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allcslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allcslocation_{ij}$									
5	16	120	5	4	9	11	12	18					
				4	9	11	12	17					
				4	10	11	12	18					
				4	10	11	12	17					
		200	2	10	12								
				10	19								
		300	1	11									
		5	17	120	4	4	9	11	12				
						4	10	11	12				
200	2			4	11								
				9	11								
				10	11								
				10	12								
				10	19								
300	1			9									
				10									
		11											

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allcslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allcslocation_{ij}$								
6	11	120	3	5	4	9						
				5	4	10						
		200	1	4								
				5								
		300	1	4								
				9								
				10								
6	12	120	4	5	4	9	11					
				5	4	10	11					
		200	2	5	10							
				4	10							
				4	11							
		300	1	4								
				9								
		10										
6	13	120	4	5	4	3	2					
				5	3							
		200	2	5	2							
				4	3							
				4	2							
		300	1	5								
				4								
		3										

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$							
6	14	120	5	5	4	3	2	13			
		200	2	5	2						
				4	2						
		300	1	3							
6	15	120	6	5	4	3	2	13	14		
		200	3	5	3	13					
				5	2	13					
				5	2	14					
				4	3	13					
				4	2	13					
				4	2	14					
	300	1	3								



ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$							
6	17	120	5	5	4	9	11	12			
				5	4	10	11	12			
		200	2	4	11						
				300	1	9					
				10							
6	18	120	5	5	4	9	11	12			
				5	4	10	11	12			
		200	2	4	11						
				300	1	9					
				10							
6	19	120	5	5	4	9	11	12			
				5	4	10	11	12			
		200	2	5	10						
				4	10						
		300	1	4	11						
				4							
				9							
				10							
6	20	120	5	5	4	3	2	1			
		200	3	5	3	1					
				5	2	1					
				5	2	21					
				4	3	1					
				4	2	1					
		4	2	21							
300	1	3									

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$								
6	21	120	5	5	4	3	2	1				
		200	2	5	2							
				4	2							
		300	1	4								
				3								
		7	8	120	0	-						
200	0			-								
300	0			-								
7	9	120	3	6	5	4						
		200	1	5								
		300	1	6								
				5								
				4								
7	10	120	3	6	5	4						
		200	1	5								
		300	1	6								
				5								
7	11	120	4	6	5	4	9					
				6	5	4	10					
		200	2	6	4							
				5	4							
				5	9							
				5	10							
		300	1	5								
				4								

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$							
7	12	120	5	6	5	4	9	11			
				6	5	4	10	11			
		200	2	5	10						
		300	1	4							
7	13	120	5	6	5	4	3	2			
				5	3						
		200	2	5	2						
				5	2						
300	1	5									
		4									
7	14	120	6	6	5	4	3	2	13		
				5	2						
		200	2	6	3						
				5	3						
				5	2						
				5	13						
				4	3						
				4	2						
300	2	4	13								
		4	13								

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$							
7	15	120	7	6	5	4	3	2	13	14	
				5	3	13					
		200	3	5	2	13					
				5	2	14					
		300	2	6	3						
				5	3						
	5			2							
	5			13							
					4	3					
					4	2					
					4	13					
	7	16	120	7	6	5	4	9	11	12	18
6					5	4	9	11	12	17	
6					5	4	10	11	12	18	
6					5	4	10	11	12	17	
200			3	5	10	12					
				5	10	19					
300			2	5	11						
				4	11						
				4	12						
				4	19						

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$							
7	17	120	6	6	5	4	9	11	12		
				6	5	4	10	11	12		
		200	3	6	4	11					
				5	4	11					
				5	9	11					
				5	10	11					
				5	10	12					
				5	10	19					
		300	2	6	9						
				6	10						
				5	9						
				5	10						
				5	11						
				4	9						
				4	10						
				4	11						
				4	12						
4	19										

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allcslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allcslocation_{ij}$							
7	18	120	6	6	5	4	9	11	12		
				6	5	4	10	11	12		
		200	3	6	4	11					
				5	4	11					
				5	9	11					
				5	10	11					
				5	10	12					
				5	10	19					
		300	2	6	9						
				6	10						
				5	9						
				5	10						
				5	11						
				4	9						
				4	10						
				4	11						
		4	12								
		4	19								
7	19	120	6	6	5	4	9	11	12		
				6	5	4	10	11	12		
		200	2	5	10						
300	1	4									

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$									
8	10	120	4	7	6	5	4						
		200	2	7	5								
				6	5								
				6	4								
		300	1	6									
				5									
8	11	120	5	7	6	5	4	9					
				7	6	5	4	10					
		200	2	6	4								
		300	1	5									
8	12	120	6	7	6	5	4	9	11				
				7	6	5	4	10	11				
		200	3	7	5	10							
				6	5	10							
				6	4	10							
				6	4	11							
		300	2	7	4								
				6	4								
				6	9								
				6	10								
				5	4								
				5	9								
				5	10								
5	11												

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$							
8	13	120	6	7	6	5	4	3	2		
		200	3	7	5	3					
				7	5	2					
				6	5	3					
				6	5	2					
				6	4	3					
				6	4	2					
	300	1	5								
	8	14	120	7	7	6	5	4	3	2	13
			200	3	7	5	2				
6					5	2					
6					4	2					
300			2	6	3						
				5	3						
				5	2						
				5	13						

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$								
8	15	120	8	7	6	5	4	3	2	13	14	
		200	4	7	5	3	13					
				7	5	2	13					
				7	5	2	14					
				6	5	3	13					
				6	5	2	13					
				6	5	2	14					
				6	4	3	13					
				6	4	2	13					
		300	2	6	4	2	14					
				6	3							
				5	3							
				5	2							
				5	13							

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$								
8	16	120	8	7	6	5	4	9	11	12	18	
				7	6	5	4	9	11	12	17	
				7	6	5	4	10	11	12	18	
				7	6	5	4	10	11	12	17	
		200	4	7	5	10	12					
				7	5	10	19					
				6	5	10	12					
				6	5	10	19					
				6	4	10	12					
				6	4	10	19					
				6	4	11	12					
				6	4	11	19					
		6	4	11	18							
		6	4	11	17							
		300	2	5	11							
8	17	120	7	7	6	5	4	9	11	12		
				7	6	5	4	10	11	12		
		200	3	6	4	11						
				6	9							
		300	2	6	10							
				5	9							
				5	10							
				5	11							

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$							
8	18	120	7	7	6	5	4	9	11	12	
				7	6	5	4	10	11	12	
		200	3	6	4	11					
		300	2	6	9						
				6	10						
				5	9						
				5	10						
				5	11						
8	19	120	7	7	6	5	4	9	11	12	
				7	6	5	4	10	11	12	
		200	3	7	5	10					
				6	5	10					
				6	4	10					
				6	4	11					
		300	2	7	4						
				6	4						
				6	9						
				6	10						
				5	4						
				5	9						
				5	10						
				5	11						

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allcslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allcslocation_{ij}$									
8	20	120	7	7	6	5	4	3	2	1			
		200	4	7	5	3	1						
				7	5	2	1						
				7	5	2	21						
				6	5	3	1						
				6	5	2	1						
				6	5	2	21						
				6	4	3	1						
				6	4	2	1						
		300	2	6	4	2	21						
				6	3								
				5	3								
				5	2								
		8	21	120	7	7	6	5	4	3	2	1	
				200	3	7	5	2					
						6	5	2					
300	2			6	4	2							
				7	4								
				6	4								
				6	3								
				5	4								
				5	3								
5	2												
5	1												

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$											
9	15	120	4	11	12	18	16								
				11	12	17	16								
		200	2	11	18										
				11	17										
		300	1	12											
				19											
				18											
				17											
		9	16	120	3	11	12	18							
						11	12	17							
				200	2	10	12								
						10	19								
11	12														
11	19														
11	18														
11	17														
300	1			11											
				12											
				19											
				18											
				17											
9	17	120	2	11	12										
		200	1	11											
		300	0	-											

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allcslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allcslocation_{ij}$							
10	17	120	2	11	12						
		200	1	11							
				12							
				19							
300	0	-									
10	18	120	2	11	12						
		200	1	11							
				12							
				19							
300	0	-									
10	19	120	2	11	12						
		200	0	-							
		300	0	-							
10	20	120	4	4	3	2	1				
		200	3	9	3	1					
				4	3	1					
				4	2	1					
				4	2	21					
		300	1	3							
2											
10	21	120	4	4	3	2	1				
		200	2	4	2						
		300	1	4							
				3							
				2							

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allcslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allcslocation_{ij}$								
11	12	120	0	-								
		200	0	-								
		300	0	-								
11	13	120	4	10	4	3	2					
				9	4	3	2					
		200	2	9	3							
				4	3							
		300	1	4	2							
				4	3							
11	14	120	4	12	18	16	15					
				12	17	16	15					
		200	1	17								
				12								
		300	1	19								
				18								
		17										
		16										

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$							
11	20	120	5	10	4	3	2	1			
				9	4	3	2	1			
		200	3	9	3	1					
				4	3	1					
				4	2	1					
				4	2	21					
		300	1	3							
11	21	120	5	10	4	3	2	1			
				9	4	3	2	1			
		200	2	4	2						
				4							
300	1	4									
		3									
12	13	120	4	18	16	15	14				
				17	16	15	14				
		200	2	18	15						
				17	15						
				17	14						
				16	15						
16	14										
12	13	300	1	17							
				16							
				15							
				14							

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allcslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละ ช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allcslocation_{ij}$								
12	14	120	3	18	16	15						
				17	16	15						
		200	1	17								
				16								
		300	0	-								
		12	15	120	2	18	16					
17	16											
200	1			18								
				17								
				16								
300	0			-								
12	16	120	1	18								
				17								
		200	0	-								
300	0	-										
12	17	120	0	-								
		200	0	-								
		300	0	-								
12	18	120	0	-								
		200	0	-								
		300	0	-								
12	19	120	0	-								
		200	0	-								
		300	0	-								

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allcslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allcslocation_{ij}$							
12	21	120	6	18	16	15	14	13	1		
				17	16	15	14	13	1		
		200	3	18	15	13					
				17	15	13					
				17	14	13					
				17	14	1					
				16	15	13					
				16	14	13					
		300	1	15							
				14							
13	14	120	0	-							
		200	0	-							
		300	0	-							
13	15	120	1	14							
		200	0	-							
		300	0	-							
13	16	120	2	14	15						
		200	1	14							
				15							
300	0	-									
13	17	120	3	14	15	16					
		200	1	14							
				15							
300	0	-									

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$								
13	18	120	3	14	15	16						
		200	1	15								
		300	1	14								
				15								
				16								
		17										
13	19	120	4	14	15	16	17					
				14	15	16	18					
		200	2	14	16							
				14	17							
				15	16							
				15	17							
				15	18							
				14								
		300	1	15								
				16								
17												
13	20	120	1	1								
		200	0	-								
		300	0	-								
13	21	120	1	1								
		200	0	-								
		300	0	-								
14	15	120	0	-								
		200	0	-								
		300	0	-								

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$								
15	16	120	0	-								
		200	0	-								
		300	0	-								
15	17	120	1	16								
		200	0	-								
		300	0	-								
15	18	120	1	16								
		200	0	-								
		300	0	-								
15	19	120	2	16	17							
				16	18							
				16								
		200	1	17								
				18								
				-								
300	0	-										
15	20	120	3	14	13	1						
				13								
		300	1	1								
				21								
15	21	120	3	14	13	1						
		200	1	13								
		300	0	-								
16	17	120	0	-								
		200	0	-								
		300	0	-								

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

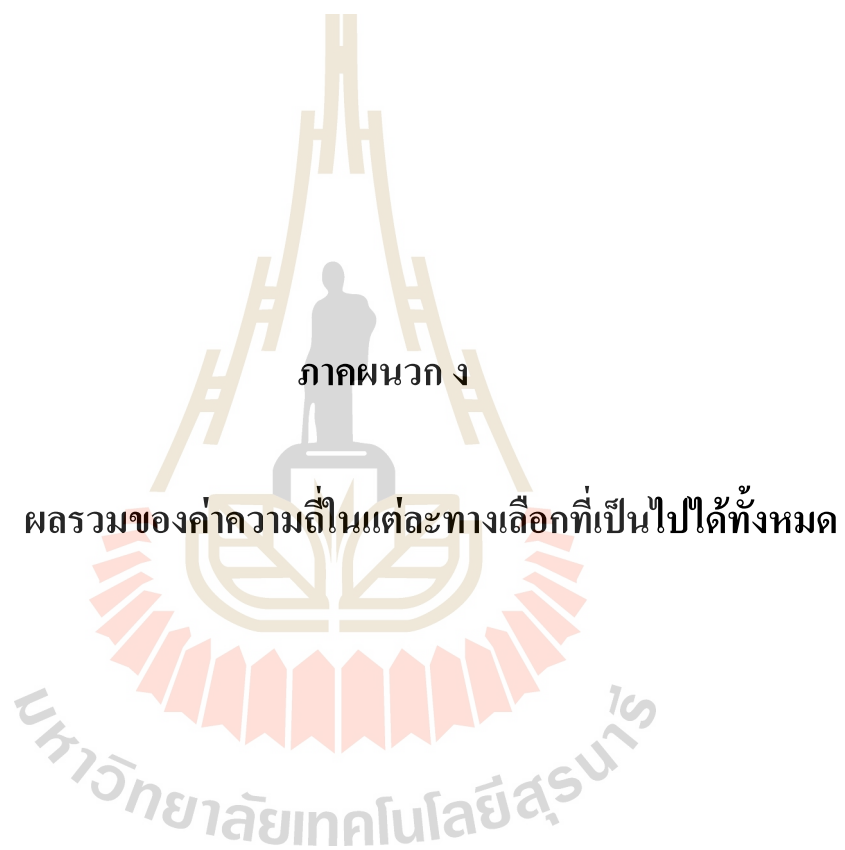
i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$								
17	20	120	5	16	15	14	13	1				
		200	2	15	13							
				14	13							
				14	1							
300	1	13										
17	21	120	5	16	15	14	13	1				
		200	2	15	13							
				14	13							
				14	1							
300	1	15										
		14										
		13										
18	19	120	0	-								
		200	0	-								
		300	0	-								
18	20	120	5	16	15	14	13	1				
		200	2	15	13							
		300	2	17	13							
				16	13							
				15	13							
				15	1							
				15	21							
				14	13							
				14	1							
14	21											

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$							
18	21	120	5	16	15	14	13	1			
		200	2	15	13						
		300	1	15							
14											
19	20	120	6	18	16	15	14	13	1		
				17	16	15	14	13	1		
		200	3	18	15	13					
				17	15	13					
				17	14	13					
				17	14	1					
				16	15	13					
				16	14	13					
				16	14	1					
		300	2	17	13						
				16	13						
				15	13						
				15	1						
				15	21						
				14	13						
14	1										
14	21										

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ($Allslocation_{ij}$) สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	n_{ij}	$Allslocation_{ij}$							
19	21	120	6	18	16	15	14	13	1		
				17	16	15	14	13	1		
		200	3	18	15	13					
				17	15	13					
				17	14	13					
				17	14	1					
				16	15	13					
				16	14	13					
		300	1	15							
				14							
20	21	120	0	-							
		200	0	-							
		300	0	-							



ภาคผนวก ง

ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และโหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการจับจีของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่
1	2	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
1	3	120	2							163
		200	-							0
		300	-							0
1	4	120	2	3						320
		200	2							163
			3							157
		300	-							0
1	5	120	2	3	4					619
		200	2							163
			3							157
		300	-							0
1	6	120	2	3	4	5				852
		200	2	4						462
			2	5						396
			3	4						456
			3	5						390
		300	3							157
			4							299
			5							233
1	7	120	2	3	4	5	6			988
		200	2	5						396
			3	5						390
		300	4							299
			5							233

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$								ความถี่
1	18	120	13	14	15	16					462
		200	13	15							247
			14	15							234
			14	16							215
			14	17							215
		300	14								129
			15								105
1	19	120	13	14	15	16	17				548
			13	14	15	16	18				521
		200	14	16							215
			14	17							215
		300	14								129
			15								105
1	20	120	-							0	
		200	-							0	
		300	-							0	
1	21	120	-							0	
		200	-							0	
		300	-							0	
2	3	120	-							0	
		200	-							0	
		300	-							0	
2	4	120	3							157	
		200	-							0	
		300	-							0	

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่
2	5	120	3	4						456
		200	-							0
		300	-							0
2	6	120	3	4	5					689
		200	4							299
			5							233
		300	3							157
			4							299
			5							233
2	7	120	3	4	5	6				825
		200	5							233
		300	4							299
			5							233
		2	8	120	3	4	5	6	7	
200	4			6						435
	5			6						369
	7									285
300	5									233
2	9			120	3	4				
		200	3							157
			4							299
		300	-							0
2	10	120	3	4						456
		200	4							299
		300	-							0

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$								ความถี่		
2	11	120	3	4	9						557		
			3	4	10						593		
		200	4								299		
			3								157		
		300	4								299		
			9								101		
			10								137		
		2	12	120	3	4	9	11					734
					3	4	10	11					770
200	4			10							436		
	4			11							476		
300	4										299		
	9										101		
	10										137		
2	13			120	-							0	
				200	-							0	
		300	-							0			
2	14	120	13							142			
		200	-							0			
		300	-							0			
2	15	120	13	14						271			
		200	13							142			
			14							129			
		300	-							0			

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่
2	20	120	1							97
		200	1							97
			21							21
		300								0
2	21	120	1							97
		200	-							0
		300	-							0
3	4	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
3	5	120	4							299
		200	-							0
		300	-							0
3	6	120	4	5						532
		200	4							299
			5							233
		300	-							0
3	7	120	4	5	6					668
		200	5							233
		300	4							299
			5							233
			6							136

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$								ความถี่
3	8	120	4	5	6	7					720
		200	4	6							435
			5	6							369
			5	7							285
		300	5								233
			6								136
3	9	120	4							299	
		200	-							0	
		300	-							0	
3	10	120	4							299	
		200	4							299	
			9							101	
		300	-							0	
3	11	120	4	9						400	
			4	10						436	
		200	4							299	
			9							101	
		300	-							0	

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่	
3	12	120	4	9	11					577	
			4	10	11					613	
		200	4	10						436	
			4	11						476	
			9	10						238	
			9	11						278	
		300	4							299	
			9							101	
			10							137	
			11							177	
		3	13	120	2						163
				200	-						0
300	-								0		
3	14	120	2	13					305		
		200	2						163		
			13						142		
		300	-						0		
3	15	120	2	13	14				434		
		200	13						142		
		300	-						0		
3	16	120	2	13	14	15			539		
		200	2	14					292		
			13	14					271		
			13	15					247		
		300	13						142		
			14						129		
15							105				

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่
3	21	120	2	1						260
		200	2							163
			1							97
		300	-							0
4	5	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
4	6	120	5							233
		200	-							0
		300	-							0
4	7	120	5	6						369
		200	5							233
			6							136
		300	-							0
4	8	120	5	6	7					421
		200	6							136
		300	5							233
			6							136
			7							52
4	9	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
4	10	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่
4	11	120	9							101
			10							137
		200	-							0
			-							0
4	12	120	9	11						278
			10	11						314
		200	10							137
			11							177
		300	-							0
4	13	120	3	2						320
			3							157
		200	2							163
			-							0
4	14	120	3	2	13					462
			2							163
		200	3							157
			2							163
			13							142
4	15	120	3	2	13	14				591
			3	13						299
		200	2	13						305
			2	14						292
		300	3							157
			2							163
			13							142

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่		
4	18	120	9	11	12					401		
			10	11	12					437		
		200	11							177		
			9							101		
		300	10							137		
			11							177		
			12							123		
			19							42		
		4	19	120	9	11	12					401
					10	11	12					437
200	10									137		
	11									177		
300	-									0		
4	20	120	3	2	1					417		
			3	1						254		
		200	2	1						260		
			2	21						184		
		300	3							157		
			2							163		
			1							97		
			21							21		
4	21	120	3	2	1					417		
		200	2							163		
		300	-							0		
5	6	120	-							0		
		200	-							0		
		300	-							0		

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่
5	13	120	4	3	2					619
		200	3							157
			2							163
		300	-							0
5	14	120	4	3	2	13				761
		200	2							163
		300	3							157
			2							163
			13							142
5	15	120	4	3	2	13	14			890
		200	3	13						299
			2	13						305
			2	14						292
		300	3							157
			2							163
			13							142
5	16	120	4	9	11	12	18			759
			4	9	11	12	17			786
			4	10	11	12	18			795
			4	10	11	12	17			822
		200	10	12						260
			10	19						42
		300	11							177

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

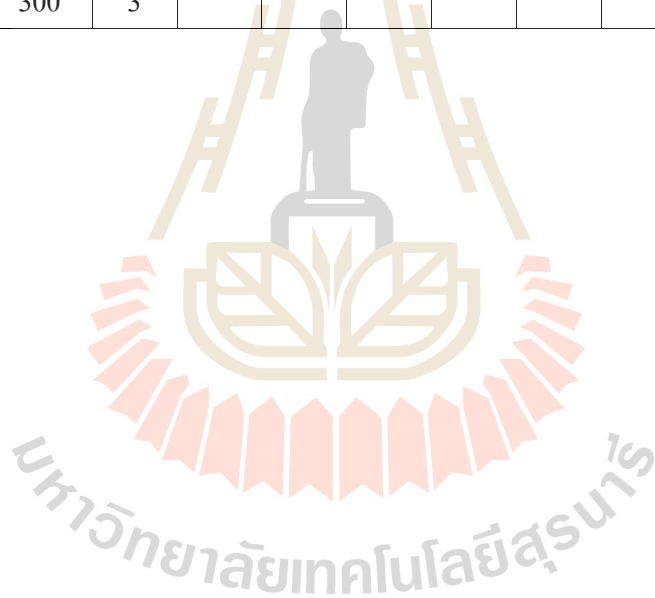
i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่		
5	20	120	4	3	2	1					716	
		200	3	1							254	
			2	1							260	
			2	21							184	
		300	3								157	
			2								163	
			1								97	
		5	21	120	4	3	2	1				716
				200	2							163
300	4										299	
	3										157	
	2										163	
	1										97	
6	7	120	-							0		
		200	-							0		
		300	-							0		
6	8	120	7							52		
		200								0		
		300	-							0		
6	9	120	5	4						532		
		200	5							233		
			4							299		
		300	-							0		
6	10	120	5	4						532		
		200	5							233		
			4							299		
		300	-							0		

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่
6	11	120	5	4	9					633
			5	4	10					669
		200	4							299
		300	5							233
			4							299
			9							101
			10							137
6	12	120	5	4	9	11				810
			5	4	10	11				846
		200	5	10						370
			4	10						436
			4	11						476
		300	4							299
			9							101
			10							137
6	13	120	5	4	3	2				852
		200	5	3						390
			5	2						396
			4	3						456
			4	2						462
		300	5							233
			4							299
			3							157
6	14	120	5	4	3	2	13			994
		200	5	2						396
			4	2						462
		300	3							157

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการจับจีของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$								ความถี่
6	15	120	5	4	3	2	13	14			1123
		200	5	3	13						532
			5	2	13						538
			5	2	14						525
			4	3	13						598
			4	2	13						604
			4	2	14						591
		300	3								157



ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$								ความถี่		
6	17	120	5	4	9	11	12				933		
			5	4	10	11	12				969		
		200	4	11							476		
		300	9								101		
			10								137		
		6	18	120	5	4	9	11	12				933
5	4				10	11	12				969		
200	4			11							476		
300	9										101		
	10										137		
6	19			120	5	4	9	11	12				933
		5	4		10	11	12				969		
		200	5	10							370		
			4	10							436		
			4	11							476		
		300	4								299		
			9								101		
			10								137		
		6	20	120	5	4	3	2	1				949
				200	5	3	1						487
5	2				1						493		
5	2				21						417		
4	3				1						553		
4	2				1						559		
4	2				21						483		
300	3										157		

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$								ความถี่		
7	15	120	6	5	4	3	2	13	14		1259		
		200	5	3	13						532		
			5	2	13						538		
			5	2	14						525		
		300	6	3							293		
			5	3							390		
			5	2							396		
			5	13							375		
			4	3							456		
			4	2							462		
			4	13							441		
		7	16	120	6	5	4	9	11	12	18		1128
					6	5	4	9	11	12	17		1155
6	5				4	10	11	12	18		1164		
6	5				4	10	11	12	17		1191		
200	5			10	12						493		
	5			10	19						412		
300	5			11							410		
	4			11							476		
	4			12							422		
	4			19							341		

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$								ความถี่	
7	20	120	6	5	4	3	2	1			1085	
		200	5	3	1						487	
			5	2	1						493	
			5	2	21						417	
		300	6	3							293	
			5	3							390	
			5	2							396	
			5	1							330	
			4	3							456	
			4	2							462	
			4	1							396	
			4	21							320	
		7	21	120	6	5	4	3	2	1		1085
				200	5	2						396
				300	4							299
		8	9	120	7	6	5	4				720
200	7			5						285		
	6			5						369		
	6			4						435		
300	6									136		
	5									233		
8	10	120	7	6	5	4				720		
		200	7	5						285		
			6	5						369		
			6	4						435		
		300	6							136		
			5							233		

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$								ความถี่
8	11	120	7	6	5	4	9				821
			7	6	5	4	10				857
		200	6	4							435
		300	5								233
8	12	120	7	6	5	4	9	11			998
			7	6	5	4	10	11			1034
		200	7	5	10						422
			6	5	10						506
			6	4	10						572
			6	4	11						612
		300	7	4							351
			6	4							435
			6	9							237
			6	10							273
			5	4							532
			5	9							334
			5	10							370
			5	11							410
8	13	120	7	6	5	4	3	2			1040
		200	7	5	3						442
			7	5	2						448
			6	5	3						526
			6	5	2						532
			6	4	3						592
			6	4	2						598
		300	5							233	

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$								ความถี่
8	20	120	7	6	5	4	3	2	1		1137
		200	7	5	3	1					539
			7	5	2	1					545
			7	5	2	21					469
			6	5	3	1					623
			6	5	2	1					629
			6	5	2	21					553
			6	4	3	1					689
			6	4	2	1					695
			6	4	2	21					619
	300	6	3							293	
		5	3							390	
		5	2							396	
		5	1							330	
	8	21	120	7	6	5	4	3	2	1	1137
			200	7	5	2					448
				6	5	2					532
6				4	2					598	
300		7	4						351		
		6	4						435		
		6	3						293		
		5	4						532		
		5	3						390		
		5	2						396		
5	1						330				

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่
9	10	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
9	11	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
9	12	120	11							177
		200	10							137
			11							177
		300	-							0
9	13	120	4	3	2					619
		200	3							157
		300	4							299
			3							157
			2							163
9	14	120	4	3	2	13				761
		200	4	2						462
			3	2						320
			3	13						299
		300	3							157
			2							163

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่			
9	15	120	11	12	18	16					445		
			11	12	17	16					472		
		200	11	18							236		
			11	17							263		
		300	12								123		
			19								42		
			18								59		
			17								86		
		9	16	120	11	12	18						359
					11	12	17						386
				200	10	12							260
					10	19							179
11	12										300		
11	19										219		
11	18										236		
11	17										263		
300	11											177	
	12										123		
	19										42		
	18										59		
	17										86		
9	17			120	11	12						300	
				200	11							177	
		300	-							0			
9	18	120	11	12						300			
		200	11							177			
		300	-							0			

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่		
10	15	120	11	12	18	16					445	
			11	12	17	16					472	
		200	11	18							236	
			11	17							263	
			12	18							182	
			12	17							209	
			12	16							209	
			19	18							101	
			19	17							128	
			19	16							128	
		300	12								123	
			19								42	
			18								59	
			17								86	
		10	16	120	11	12	18					359
					11	12	17					386
200	12									123		
	19									42		
300	11									177		
	12									123		
	19									42		
	18									59		
	17									86		

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่
11	12	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
11	13	120	10	4	3	2				756
			9	4	3	2				720
		200	9	3						258
			4	3						456
		300	4	2						462
			4							299
11	14	120	12	18	16	15				373
			12	17	16	15				400
		200	17							86
			12							123
		300	19							42
			18							59
11	15	120	17						86	
			16						86	
		200	12	18	16					268
			12	17	16					295
		300	18							59
			17							86
11	15	200	12						123	
			19						42	
		300	18						59	
			17						86	
		300	16						86	
			16						86	

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่
11	16	120	12	18						182
			12	17						209
		200	12							123
			19							42
			18							59
			17							86
		300	-							0
11	17	120	12						123	
		200	-						0	
		300	-						0	
11	18	120	12						123	
		200	-						0	
		300	-						0	
11	19	120	12						123	
		200	-						0	
		300	-						0	
11	20	120	10	4	3	2	1			853
			9	4	3	2	1			817
		200	9	3	1					355
			4	3	1					553
			4	2	1					559
			4	2	21					483
		300	3							157

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$								ความถี่
11	21	120	10	4	3	2	1				853
			9	4	3	2	1				817
		200	4	2							462
		300	4								299
			3								157
12	13	120	18	16	15	14					379
			17	16	15	14					406
		200	18	15							164
			17	15							191
			17	14							215
			16	15							191
			16	14							215
		300	17								86
			16								86
			15								105
			14								129
12	14	120	18	16	15					250	
			17	16	15					277	
		200	17							86	
			16							86	
300	-							0			
12	15	120	18	16						145	
			17	16						172	
		200	18							59	
			17							86	
			16							86	
		300	-							0	

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่
12	16	120	18							59
			17							86
		200	-							0
		300	-							0
12	17	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
12	18	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
12	19	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$								ความถี่
13	18	120	14	15	16						320
		200	15								105
		300	14								129
			15								105
			16								86
			17								86
13	19	120	14	15	16	17					406
			14	15	16	18					379
		200	14	16							215
			14	17							215
			15	16							191
			15	17							191
			15	18							164
			15								164
		300	14								129
			15								105
			16								86
			17								86
13	20	120	1							97	
		200	-							0	
		300	-							0	
13	21	120	1							97	
		200	-							0	
		300	-							0	
14	15	120	-							0	
		200	-							0	
		300	-							0	

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่
14	16	120	15							105
		200	-							0
		300	-							0
14	17	120	15	16						191
		200	-							0
		300	-							0
14	18	120	15	16						191
		200	15							105
			16							86
			17							86
		300	-							0
14	19	120	15	16	17					277
			15	16	18					250
		200	16							86
			17							86
		300	-							0
14	20	120	13	1						239
		200	13							142
			1							97
		300	13							142
			1							97
			21							21
14	21	120	13	1						239
		200	13							142
			1							97
		300	-							0

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่
15	16	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
15	17	120	16							86
		200	-							0
		300	-							0
15	18	120	16							86
		200	-							0
		300	-							0
15	19	120	16	17						172
			16	18						145
		200	16							86
			17							86
			18							59
		300	-							0
15	20	120	14	13	1					368
		200	13							142
		300	13							142
			1							97
			21							21
15	21	120	14	13	1					368
		200	13							142
		300	-							0
16	17	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$							ความถี่
16	18	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
16	19	120	17							86
			18							59
		200	-							0
		300	-							0
16	20	120	15	14	13	1				473
			15	13						247
		200	14	13						271
			14	1						226
		300	13							142
16	21	120	15	14	13	1				473
			15	13						247
		200	14	13						271
			14	1						226
		300	15							105
			14							129
			13							142
17	18	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
17	19	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0

ตารางที่ ง.1 ผลรวมของค่าความถี่ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	$Allcslocation_{ij}$								ความถี่		
19	21	120	18	16	15	14	13	1				618	
			17	16	15	14	13	1				645	
		200	18	15	13								306
			17	15	13								333
			17	14	13								357
			17	14	1								312
			16	15	13								333
			16	14	13								357
			16	14	1								312
			300	15									
		14											129
		20	21	120	-								
200	-											0	
300	-											0	

ภาคผนวก จ
ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่
มากที่สุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
1	2	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
1	3	120	2							163
		200	-							0
		300	-							0
1	4	120	2	3						320
		200	2							163
		300	-							0
1	5	120	2	3	4					619
		200	2							163
		300	-							0
1	6	120	2	3	4	5				852
		200	2	4						462
		300	4							299
1	7	120	2	3	4	5	6			988
		200	2	5						396
		300	4							299
1	8	120	2	3	4	5	6	7		1040
		200	2	4	6					598
		300	5							233
1	9	120	2	3	4					619
		200	3							157
		300	4							299

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
1	10	120	2	3	4					619
		200	2	4						462
		300	4							299
1	11	120	2	3	4	10				756
		200	2	4						462
		300	4							299
1	12	120	13	14	15	16	17			548
		200	14	17						215
		300	14							129
1	13	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
1	14	120	13							142
		200	-							0
		300	-							0
1	15	120	13	14						271
		200	13							142
		300	-							0
1	16	120	13	14	15					376
		200	14							129
		300	13							142
1	17	120	13	14	15	16				462
		200	14							129
		300	13							142

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
2	15	120	13	14						271
		200	13							142
		300	-							0
2	16	120	13	14	15					376
		200	14							129
		300	13							142
2	17	120	13	14	15	16				462
		200	14							129
		300	13							142
2	18	120	13	14	15	16				462
		200	13	15						247
		300	14							129
2	19	120	3	4	10	11	12			893
		200	4	11						476
		300	4							299
2	20	120	1							97
		200	1							97
		300	-							0
2	21	120	1							97
		200	-							0
		300	-							0
3	4	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
3	5	120	4							299
		200	-							0
		300	-							0
3	6	120	4	5						532
		200	4							299
		300	-							0
3	7	120	4	5	6					668
		200	5							233
		300	4							299
3	8	120	4	5	6	7				720
		200	4	6						435
		300	5							233
3	9	120	4							299
		200	-							0
		300	-							0
3	10	120	4							299
		200	4							299
		300	-							0
3	11	120	4	10						436
		200	4							299
		300	-							0
3	12	120	4	10	11					613
		200	4	11						476
		300	4							299

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
3	13	120	2							163
		200	-							0
		300	-							0
3	14	120	2	13						305
		200	2							163
		300	-							0
3	15	120	2	13	14					434
		200	13							142
		300	-							0
3	16	120	2	13	14	15				539
		200	2	14						292
		300	13							142
3	17	120	2	13	14	15	16			625
		200	2	14						292
		300	13							142
3	18	120	4	10	11	12				736
		200	4	11						476
		300	11							177
3	19	120	4	10	11	12				736
		200	4	11						476
		300	4							299
3	20	120	2	1						260
		200	1							0
		300	-							0

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
3	21	120	2	1						260
		200	2							163
		300	-							0
4	5	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
4	6	120	5							233
		200	-							0
		300	-							0
4	7	120	5	6						369
		200	5							233
		300	-							0
4	8	120	5	6	7					421
		200	6							136
		300	5							233
4	9	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
4	10	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
4	11	120	10							137
		200	-							0
		300	-							0

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
4	12	120	10	11						314
		200	11							177
		300	-							0
4	13	120	3	2						320
		200	2							163
		300	-							0
4	14	120	3	2	13					462
		200	2							163
		300	2							163
4	15	120	3	2	13	14				591
		200	2	13						305
		300	2							163
4	16	120	10	11	12	17				523
		200	11	12						300
		300	11							177
4	17	120	10	11	12					437
		200	11							177
		300	11							177
4	18	120	10	11	12					437
		200	11							177
		300	11							177
4	19	120	10	11	12					437
		200	11							177
		300	-							0

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุด สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
4	20	120	3	2	1					417
		200	2	1					260	
		300	2						163	
4	21	120	3	2	1				417	
		200	2						163	
		300	-						0	
5	6	120	-						0	
		200	-						0	
		300	-						0	
5	7	120	6						136	
		200	-						0	
		300	-						0	
5	8	120	6	7					188	
		200	6						136	
		300	-						0	
5	9	120	4						299	
		200	-						0	
		300	-						0	
5	10	120	4						299	
		200	-						0	
		300	-						0	
5	11	120	4	10					436	
		200	4						299	
		300	-						0	

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
5	12	120	4	10	11					613
		200	10							137
		300	4							299
5	13	120	4	3	2					619
		200	2							163
		300	-							0
5	14	120	4	3	2	13				761
		200	2							163
		300	2							163
5	15	120	4	3	2	13	14			890
		200	2	13						305
		300	2							163
5	16	120	4	10	11	12	17			822
		200	10	12						260
		300	11							177
5	17	120	4	10	11	12				736
		200	4	11						476
		300	11							177
5	18	120	4	10	11	12				736
		200	4	11						476
		300	11							177
5	19	120	4	10	11	12				736
		200	10							137
		300	4							299

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
5	20	120	4	3	2	1				716
		200	2	1						260
		300	2							163
5	21	120	4	3	2	1				716
		200	2							163
		300	4							299
6	7	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
6	8	120	7							52
		200	-							0
		300	-							0
6	9	120	5	4						532
		200	4							299
		300	-							0
6	10	120	5	4						532
		200	4							299
		300	-							0
6	11	120	5	4	10					669
		200	4							299
		300	4							299
6	12	120	5	4	10	11				846
		200	4	11						476
		300	4							299

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
6	13	120	5	4	3	2				852
		200	4	2						462
		300	4							299
6	14	120	5	4	3	2	13			994
		200	4	2						462
		300	3							157
6	15	120	5	4	3	2	13	14		1123
		200	4	2	13					604
		300	3							157
6	16	120	5	4	10	11	12	17		1055
		200	4	11	12					599
		300	4	11						476
6	17	120	5	4	10	11	12			969
		200	4	11						476
		300	10							137
6	18	120	5	4	10	11	12			969
		200	4	11						476
		300	10							137
6	19	120	5	4	10	11	12			969
		200	4	11						476
		300	4							299
6	20	120	5	4	3	2	1			949
		200	4	2	1					559
		300	3							157

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้า								ความถี่
6	21	120	5	4	3	2	1				949
		200	4	2							462
		300	4								299
7	8	120	-								0
		200	-								0
		300	-								0
7	9	120	6	5	4						668
		200	5								233
		300	4								299
7	10	120	6	5	4						668
		200	5								233
		300	4								299
7	11	120	6	5	4	10					805
		200	5	4							532
		300	4								299
7	12	120	6	5	4	10	11				982
		200	5	10							370
		300	4								299
7	13	120	6	5	4	3	2				988
		200	5	2							396
		300	4								299
7	14	120	6	5	4	3	2	13			1130
		200	5	2							396
		300	4	2							462

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้า								ความถี่
8	10	120	7	6	5	4					720
		200	6	4							435
		300	5								233
8	11	120	7	6	5	4	10				857
		200	6	4							435
		300	5								233
8	12	120	7	6	5	4	10	11			1034
		200	6	4	11						612
		300	5	4							532
8	13	120	7	6	5	4	3	2			1040
		200	6	4	2						598
		300	5								233
8	14	120	7	6	5	4	3	2	13		1182
		200	6	4	2						598
		300	5	2							396
8	15	120	7	6	5	4	3	2	13	14	1311
		200	6	4	2	13					740
		300	5	2							396
8	16	120	7	6	5	4	10	11	12	17	1243
		200	6	4	11	12					735
		300	5	11							410
8	17	120	7	6	5	4	10	11	12		1157
		200	6	4	11						612
		300	5	11							410

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
10	11	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
10	12	120	11							177
		200	-							0
		300	-							0
10	13	120	4	3	2					619
		200	4	2						462
		300	4							299
10	14	120	11	12	17	16	15			577
		200	11	17						263
		300	12							123
10	15	120	11	12	17	16				472
		200	11	17						263
		300	12							123
10	16	120	11	12	17					386
		200	12							123
		300	11							177
10	17	120	11	12						300
		200	11							177
		300	-							0
10	18	120	11	12						300
		200	11							177
		300	-							0

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
10	19	120	11	12						300
		200	-							0
		300	-							0
10	20	120	4	3	2	1				716
		200	4	2	1					559
		300	2							163
10	21	120	4	3	2	1				716
		200	4	2						462
		300	4							299
11	12	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
11	13	120	10	4	3	2				756
		200	4	2						462
		300	4							299
11	14	120	12	17	16	15				400
		200	17							86
		300	12							123
11	15	120	12	17	16					295
		200	17							86
		300	12							123
11	16	120	12	17						209
		200	12							123
		300	-							0

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
11	17	120	12							123
		200	-							0
		300	-							0
11	18	120	12							123
		200	-							0
		300	-							0
11	19	120	12							123
		200	-							0
		300	-							0
11	20	120	10	4	3	2	1			853
		200	4	2	1					559
		300	3							157
11	21	120	10	4	3	2	1			853
		200	4	2						462
		300	4							299
12	13	120	17	16	15	14				406
		200	17	14						215
		300	14							129
12	14	120	17	16	15					277
		200	17							86
		300	-							0
12	15	120	17	16						172
		200	17							86
		300	-							0

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
13	16	120	14	15						234
		200	14							129
		300	-							0
13	17	120	14	15	16					320
		200	14							129
		300	-							0
13	18	120	14	15	16					320
		200	15							105
		300	14							129
13	19	120	14	15	16	17				406
		200	14	17						215
		300	14							129
13	20	120	1							97
		200	-							0
		300	-							0
13	21	120	1							97
		200	-							0
		300	-							0
14	15	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
14	16	120	15							105
		200	-							0
		300	-							0

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีขั้วจรรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
14	17	120	15	16						191
		200	-							0
		300	-							0
14	18	120	15	16						191
		200	15							105
		300	-							0
14	19	120	15	16	17					277
		200	17							86
		300	-							0
14	20	120	13	1						239
		200	13							142
		300	13							142
14	21	120	13	1						239
		200	13							142
		300	-							0
15	16	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
15	17	120	16							86
		200	-							0
		300	-							0
15	18	120	16							86
		200	-							0
		300	-							0

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุด สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

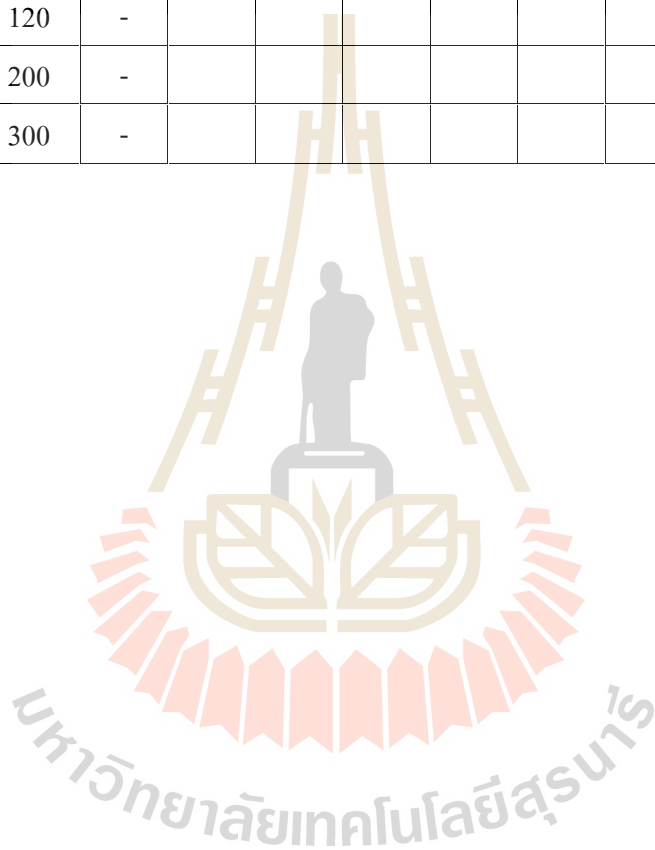
i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
15	19	120	16	17						172
		200	17							86
		300	-							0
15	20	120	14	13	1					368
		200	13							142
		300	13							142
15	21	120	14	13	1					368
		200	13							142
		300	-							0
16	17	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
16	18	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
16	19	120	17							86
		200	-							0
		300	-							0
16	20	120	15	14	13	1				473
		200	14	13						271
		300	13							142
16	21	120	15	14	13	1				473
		200	14	13						271
		300	13							142

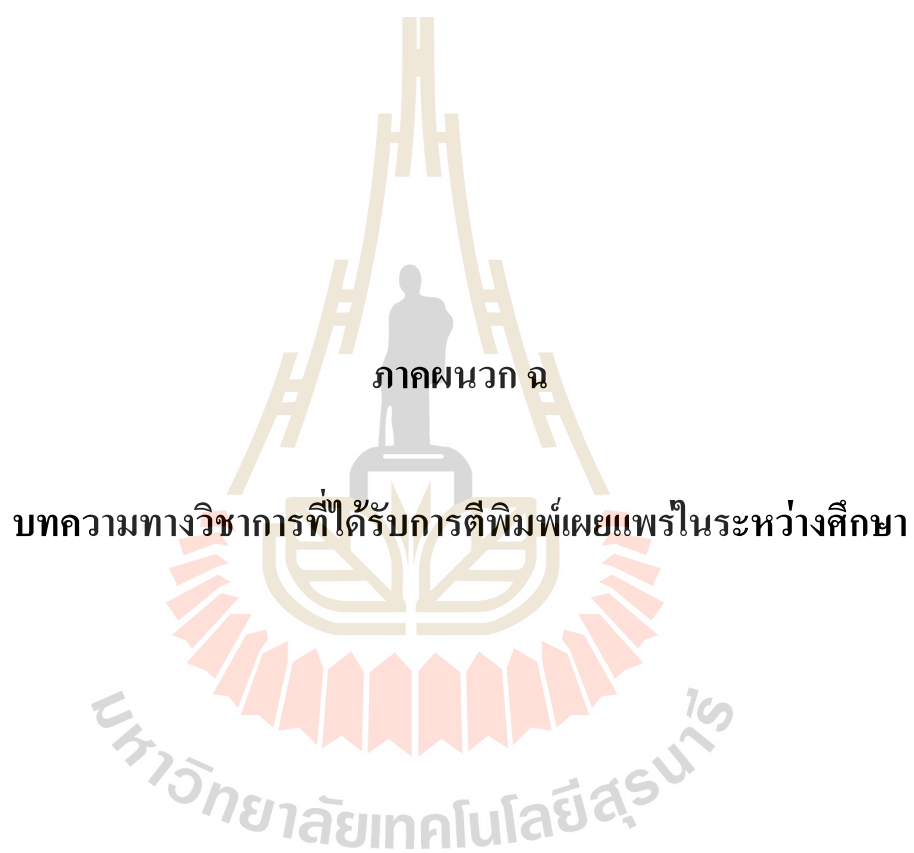
ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุดสำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า							ความถี่
17	18	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
17	19	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
17	20	120	16	15	14	13	1			559
		200	14	13						271
		300	13							142
17	21	120	16	15	14	13	1			559
		200	14	13						271
		300	13							142
18	19	120	-							0
		200	-							0
		300	-							0
18	20	120	16	15	14	13	1			559
		200	15	13						247
		300	14	13						271
18	21	120	16	15	14	13	1			559
		200	15	13						247
		300	14							129
19	20	120	17	16	15	14	13	1		645
		200	17	14	13					357
		300	14	13						271

ตารางที่ จ.1 ผลการเลือกทางเลือกการตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีผลรวมความถี่มากที่สุด สำหรับแต่ละคู่โหนดต้นทาง (i) และ โหนดปลายทาง (j) ในแต่ละช่วงการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า (R_p) (ต่อ)

i	j	R_p	โหนดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า								ความถี่
			17	16	15	14	13	1			
19	21	120	17	16	15	14	13	1			645
		200	17	14	13						357
		300	14								129
20	21	120	-								0
		200	-								0
		300	-								0





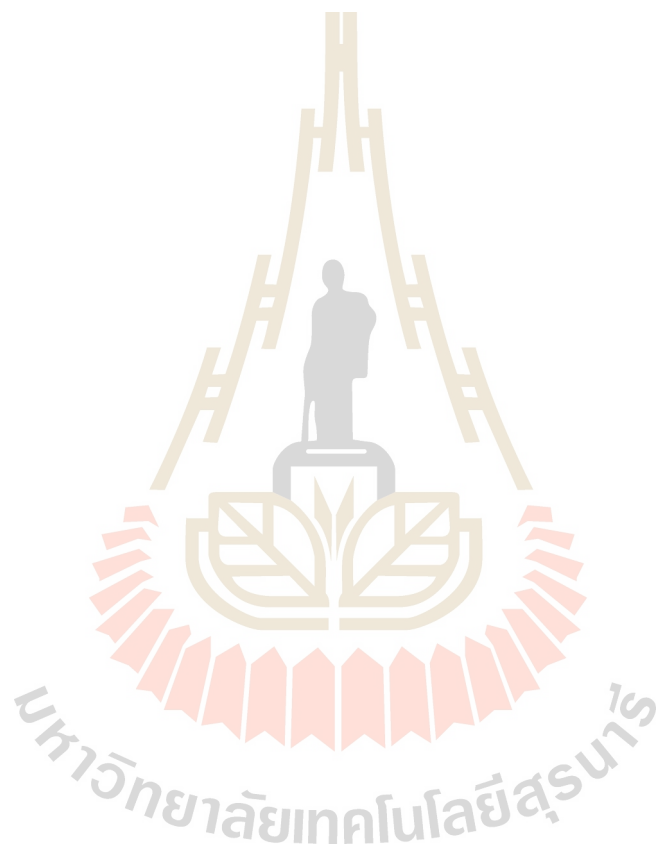
ภาคผนวก ฉ

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ราชข้อบทควมที่ไ้ร้บการตีพิมพ์เผยแพร์ในระหว่งศึกษ

Siriruk, P. and Nomai, P. (2018). Optimal Locations Selection of Electrical Vehicle Charging Stations Considering Construction Budget. **The 8th International Congress on Engineering and Information**. May 1-4, 2018, Hokkaido, Japan.



ICEAI-0160
Optimal Location Selection of Electrical Vehicle Charging Stations
Considering Construction Budget

Pavee Siriruk*, Proynun Nomai
Industrial Engineering, Suranaree University, Thailand
* E-mail: pavee@g.sut.ac.th

Abstract

In 2018, Thailand is still in the preparation phase of promoting electric vehicle (EV) technology. There are only a few charging stations available for public use in urban area of Thailand. Thai government had shown more attention on the EV technology and start to launch a policy to promote EV as global warming becomes a major problem in the world. However, critical infrastructure for EV in Thailand is not ready and still in the planning process. Charging station locations play an important role in success of EV. If charging station locations are convenient for people, the success of promoting EV is guaranteed. Thus, the decision of choosing charging station locations is crucial. In this research, the problem of expanding EV charging stations is considered assuming that Thailand will use more electric vehicles in the future and charging stations are scarce. As EV have short driving range, the charging stations must cover the interested region. The mathematical model, considered as maximal covering problem, is developed by taking construction budget into account. The optimal locations of charging stations, maximizing the demand covering, are calculated as a mixed integer programming using GAMS software. The results showed that the proposed model selected the expansion charging stations to be constructed, while maximizing demand covering and keeping expense below budget.

Keywords: Electric Vehicles, Charging Station Locations, Maximal Covering Problems

1. Introduction

For a long time, many countries around the world have paid attention to the importance of global warming. Global warming is the term used to describe a gradual increase in the average temperature of the Earth and the change, believed to be permanently changing the Earth's climate. Global warming may lead to changes in sea level rainfall and widespread impacts on plants, animals and humans. Global warming is caused by greenhouse gases in the atmosphere, such as Carbon Dioxide (CO₂), Methane (CH₄), Nitrous oxide (N₂O), and Fluorocarbon (FCs). However, Carbon dioxide is the most important greenhouse gas as it increases the volume up quickly. The study of the scientists found that the change of the average temperature of the Earth correlates with the change in carbon dioxide concentration in the atmosphere. Carbon dioxide concentration is increasing because of the combustion of fuels such as oil, coal, natural gas from the process of manufacturing in the industry or the engine in transportation. (Saenthaweesuk,

2007).

Nowadays, car manufacturers and consumers begin to turn their attention to alternative fuel vehicles such as biodiesel fuel vehicles, hybrid vehicles, hydrogen energy vehicles and electric vehicles. Electric vehicles are one of the most environmentally friendly alternative fuel vehicles as they do not emit carbon dioxide that pollutes atmosphere, reduce global warming and noise pollution with higher energy efficiency than regular cars. Many countries have developed policies to encourage the use of electric vehicles such as investment in electric vehicle charging stations, promotion for purchasing electric vehicles, and research and development. Thailand is in the beginning phase of promoting electric vehicle technology. Most of the electric vehicles in Thailand are hybrid electric vehicles (HEVs) and plug-in hybrid electric vehicles (PHEV), while the battery electric vehicles (BEV) are not yet commercialized. The major restriction of introducing electric vehicles is that the charging stations are scarce, battery capacity is still limited, long battery charging time, and limited models to choose from. The Thai ministry of energy has a plan to promote the usage of electric vehicles in Thailand. Electric vehicle charging station locations play an important role in success of EV. If charging station locations are convenient for people, the success of promoting EV is guaranteed. Thus, the decision of choosing charging station locations is crucial. (Jampha, 2016)

Owen and Daskin (1998) were report on literature which explicitly addresses the strategic nature of facility location problems by considering either stochastic or dynamic problem characteristics. There are several types of formulas and solutions to this problem: Median problems with the objective function is to minimize the total demand-weighted distance between customers and facilities. Covering problems with the objective function is to minimize the cost of facility location or to maximize the amount of demand covered. Center problems with the objective function is simply to minimize the maximum distance between any demand node and its nearest facility. Dynamic deterministic problems, which have the same objective function as covering problems but the answer may be optimal value or just close to the optimal value. Scenario planning models with the objective function is to minimize the expected regret. Many researchers have developed facility location problems to study optimizing charging station locations. There are many factors to locate electric vehicle charging stations to consider, which is a challenge of research. Some researchers are interested in factors of driving pattern. For example, Chen and Khan (2013) study the electric vehicle charging station location problem in a parking-based assignment method for Seattle. Asamer et al. (2016) study the optimizing charging station locations for urban taxi providers. Hof and Goeke (2017) study the solving the battery swap station location-routing problem with capacitated electric vehicles using an AVNS algorithm for vehicle-routing problems with intermediate stops. Wang et al. (2017) are interested in modeling of plug-in electric vehicle travel patterns and charging load based on trip chain generation study. Some researchers are interested in factors of charging pattern such as Andrews

et al. (2013) who study the modeling and optimization for electric vehicle charging infrastructure. Some researchers are interested in factors of the demand dynamics or the multi period such as Chung and Kwon (2015) who study Multi-period planning for electric car charging station locations in a case of Korean Expressways. Miralinaghi et al. (2016) study the capacitated refueling station location problem with traffic deviations over multiple time periods. Zhang et al. (2017) study the Incorporating demand dynamics in multi-period capacitated fast-charging location planning for electric vehicles.

In this research, the problem of selecting EV charging stations is considered assuming that Thailand will use more electric vehicles in the future and charging stations are scarce. As EV have short driving range, the charging stations must cover the entire route. The problem of EV charging station expansion is studied. The mathematical model has developed, based on maximal covering problem, by incorporating limited construction budget for locating optimal charging station location that is maximizing the demand covering. These two factors are neglected by other researches.

The paper is organized as follows. A problem description is presented in section two. In section three, the solution methodology is introduced. The numerical examples and results are shown in section four. In section five, the conclusion of this research is described.

2. Problem Description

In this research, there are I cities to consider. Each city has a population of h_i . The objective is to choose locations of EV charging stations to maximize demand covering of considered cities i . It is assumed that there is no other charging station available at present. There are the number of possible construction sites J . Generally, electric vehicles have a limited driving range that can run on one charge, which is known as a range of electric vehicles S . There is a maximum construction budget B and construction cost associated with each possible construction site c_j . The appropriate location of charging stations for investment are determined in order to maximize the amount of demand covered, while keeping budget under control.

3. Solution Methodology

The mathematical formulation, based on Owen and Daskin (1998), is developed and shown below.

Inputs:

i = index of cities

j = index of possible construction sites

h_i = population in city i

d_{ij} = distance between city i and possible construction sites j

S = maximum driving distance of electric vehicles

N_i = set of possible construction sites j within electric vehicle range from city i .
(i.e., $N_i = \{j | d_{ij} \leq S\}$)

c_j = construction costs of each possible construction site j

Decision variables:

$x_j = \begin{cases} 1 & \text{if we locate at possible construction site } j, \\ 0 & \text{if not.} \end{cases}$

$Z_i = \begin{cases} 1 & \text{if city } i \text{ is covered,} \\ 0 & \text{if not.} \end{cases}$

Combining these variables with the notation defined above, we derive the following formulation of the mathematical model:

$$\text{Maximize } \sum_i h_i Z_i \quad (1)$$

$$\text{subject to: } Z_i \leq \sum_{j \in N_i} x_j \quad \forall i, \quad (2)$$

$$\sum_j c_j x_j \leq B, \quad (3)$$

$$x_j \in \{1,0\} \quad \forall j, \quad (4)$$

$$Z_i \in \{1,0\} \quad \forall i, \quad (5)$$

The objective function (1) is to maximize the amount of demand covered. Constraint (2) determines which cities are covered within the electric vehicle range. Each city i can only be covered (with $Z_i = 1$), if there is a construction located at some site j which is within S of node i (i.e., if $x_j = 1$ for some $j \in N_i$). If no such construction is located, the right-hand side of constraint (2) will be zero, thus forcing Z_i to zero. Constraint (3) determines the sum of the costs of all construction sites, which should not exceed the maximum construction budget B . Constraints (4) and (5) are integrality constraints for the decision variables.

4. Numerical Examples

There are 10 cities ($i = 10$) and 3 possible construction sites ($j = 3$). The distance d_{ij} between city i and possible construction site j is shown in table 1 below.

Table 1: The distance between city i and possible construction site j

		City (i)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Site (j)	1	30	50	100	140	70	50	200	250	190	90
	2	250	100	20	40	70	90	200	200	120	90
	3	300	130	120	100	70	50	20	60	90	200

The number of population (h_i) of each city i is shown in table 2. The maximum driving range (S) of electric vehicles (the average distance that electric vehicle can run on one charge) is assumed to be 150 km. It is assumed that the maximum construction budget (B) is \$10 million and construction cost (c_j) of each site is \$5 million if it is selected to construct.

Table 2: The population of city i

	City (i)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Population (h_i)	300	3,000	300	800	2,000	2,000	300	1,000	1,500	1,200

The mathematical model is developed in GAMS software and solved as mixed integer programming. The developed model is shown in Figure 1.



Fig. 1: The GAMS software window that has been coded

Using GAMS software, the optimal solutions are obtained and shown in Figure 2. The results are shown in table 3 and 4. In table 3, construction site 1 and site 3 is selected in order to maximize the amount of demand covered, while those sites are still within the electric vehicle range and under construction budget of \$10 million. Those two sites can cover all 10 cities with 12,400 people covered. In other words, selecting construction sites 1 and 3 can cover the total

population.

Table 3: Results of expansion possible construction sites

Possible construction sites (j)	Values (x_j)
1	1
2	0
3	1

Table 4: Results of covered demand of each city

City (i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Values (Z_i)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

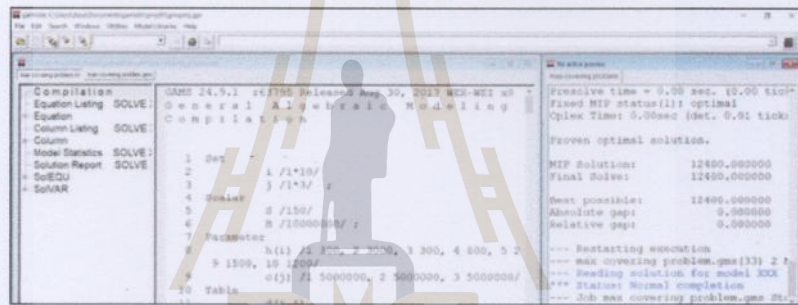


Fig. 2: Output window from GAMS software

5. Conclusions

Electric vehicles will become available for everyone in the near future. Planning for infrastructure of EV is a crucial decision to make. This research has developed the mathematical model to select optimal locations of EV charging stations. The objective is to maximize the amount of demand covered, while keeping the construction costs under budget. This model is perfect for Thailand, which is still in the beginning phase of promoting electric vehicles. Assume that there are no charging stations before. The model was developed and solved by GAMS software as Mixed integer programming. The case study of ten cities with three possible construction sites is considered with limited budget of construction costs. The results showed that the optimal locations of EV charging stations are obtained, where all demand are covered.

6. References

Andrews, M., Dogru, M., Hobby, J., Jin, Y., Tucci, G. (2013). Modeling and optimization for

- electric vehicle charging infrastructure. Proceedings of Production and Operations Management Society (POMS).
- Asamer, J., Reinthaler, M., Ruthmair, M., Straub, M., & Puchinger, J. (2016). Optimizing charging station locations for urban taxi providers. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 85, 233-246.
- Chen, T. D., Kockelman, K. M., & Khan, M. (2013). The electric vehicle charging station location problem: a parking-based assignment method for Seattle. In *Transportation Research Board 92nd Annual Meeting (Vol. 340, pp. 13-1254)*.
- Chung, S. H., & Kwon, C. (2015). Multi-period planning for electric car charging station locations: A case of Korean Expressways. *European Journal of Operational Research*, 242(2), 677-687.
- Hof, J., Schneider, M., & Goetze, D. (2017). Solving the battery swap station location-routing problem with capacitated electric vehicles using an AVNS algorithm for vehicle-routing problems with intermediate stops. *Transportation Research Part B: Methodological*, 97, 102-112.
- Jampha. (2016). Electric car with the change of Thai automobile industry. Retrieved from <https://www.gsb.or.th/>
- Miralinaghi, M., Keskin, B. B., Lou, Y., & Roshandeh, A. M. (2017). Capacitated refueling station location problem with traffic deviations over multiple time periods. *Networks and Spatial Economics*, 17(1), 129-151.
- Owen, S. H., & Daskin, M. S. (1998). Strategic facility location: A review. *European journal of operational research*, 111(3), 423-447.
- Saenthaweek. (2007). Climate Change & Global Warming. Retrieved from <http://www.wing2rtaf.net/department/weather/images/commander/2.4%20.pdf>
- Wang, D., Gao, J., Li, P., Wang, B., Zhang, C., & Saxena, S. (2017). Modeling of plug-in electric vehicle travel patterns and charging load based on trip chain generation. *Journal of Power Sources*, 359, 468-479.
- Zhang, A., Kang, J. E., & Kwon, C. (2017). Incorporating demand dynamics in multi-period capacitated fast-charging location planning for electric vehicles. *Transportation Research Part B: Methodological*, 103, 5-29.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวปรอยนันต์ โนนใหม่ เกิดเมื่อวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2537 เริ่มศึกษาชั้นประถมศึกษาที่โรงเรียนรวมมิตรวิทยา จังหวัดนครราชสีมา ชั้นมัธยมศึกษาที่โรงเรียนสุนารีวิทยา จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2559 ภายหลังสำเร็จการศึกษาได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2559 โดยขณะศึกษาได้รับทุนกิตติบัณฑิต และเป็นผู้ช่วยสอนในรายวิชาปฏิบัติการระดับปริญญาตรี

ผลงานวิจัย : ได้เสนอบทความเข้าร่วมการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ในงานประชุม International Congress on Engineering and Information ปี พ.ศ. 2561 ที่ประเทศญี่ปุ่น เรื่อง Optimal Location Selection of Electric Vehicle Charging Stations considering Construction Budget และได้ตีพิมพ์เผยแพร่บทความในวารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. (UBU Engineering Journal) เรื่อง Heuristic Approach for Location Planning of Electric Vehicle Charging Stations on Thailand Highway Network Systems

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี