การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย

โดย
นายตะวันฉาน พิทักษ์ประเวช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย

โดย
นายตะวันฉาน พิทักษ์ประเวช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

FORECASTING THE ADOPTION TECHNOLOGY OF PERSONAL ELECTRIC VEHICLES IN THAILAND

By

MR. Tawanchan PHITHAKPRAWET

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Engineering ENGINEERING MANAGEMENT

Department of INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT

Silpakorn University

Academic Year 2023

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย
โดย	นายตะวันฉาน พิทักษ์ประเวช
สาขาวิชา	การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรฤทัย ชูเทียร

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุณศรี ลีจีรจำเนียร) เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คเณศ พันธุ์สวาสดิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรฤทัย ชูเทียร)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุฑามาศ ชุมลักษณ์)

620920101 : การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : แบบจำลองการแพร่กระจายของบาส, การวิเคราะห์ข้อมูลสิทธิบัตร, การวิเคราะห์ข้อมูลบรรณมิติ, แบบจำลองการปกคลุมเซต, การแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุด, สถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

นาย ตะวันฉาน พิทักษ์ประเวช: การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรฤทัย ชูเทียร

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย และแสดงให้เห็นถึงแนวทางในการจัดตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในภูมิภาคตะวันออกของประเทศไทย โดยงานวิจัยนี้พยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีโดยใช้แบบจำลองการแพร่กระจายของบาส และใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลสิทธิบัตรและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลบรรณมิติเพื่อกำหนดแนวโน้มของการแพร่กระจาย และใช้แบบจำลองการปกคลุมเซตในการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อระบุตำแหน่งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าให้ครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในภูมิภาคตะวันออกให้ได้อย่างทั่วถึงและมากที่สุด หลังจากการพยากรณ์พบว่า ผลการพยากรณ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลบรรณมิติโดยใช้แบบจำลองการแพร่กระจายของบาสมีความแม่นยำกับข้อมูลการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยมากกว่าการพยากรณ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลสิทธิ ดังนั้นแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยข้อมูลบรรณมิติจึงมีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนสนับสนุนการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยให้กับภาครัฐและเอกชน โดยเส้นพยากรณ์แสดงให้เห็นว่าจำนวนผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยจะเริ่มทยอยเพิ่มขึ้นในปี 2046 ดังนั้นในช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่เหมาะสมที่ทั้งภาครัฐและเอกชนจะเตรียมพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อรองรับผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศได้อย่างเพียงพอและทั่วถึง และจากการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยการสร้างแบบจำลองการปกคลุมเซตตามระยะการพยากรณ์พบว่า การพยากรณ์ระยะใกล้ ต้องจัดตั้งสถานีทั้งหมด 26 แห่งใน 26 อำเภอในภาคตะวันออกของประเทศไทยจึงจะครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดและต้องมีหัวจ่ายพลังงานทั้งหมด 3,459 หัวจ่ายจึงจะเพียงพอต่อความต้องการ, การพยากรณ์ระยะกลาง ต้องจัดตั้งสถานีทั้งหมด 56 แห่งใน 56 อำเภอในภาคตะวันออกของประเทศไทยและต้องมีหัวจ่ายพลังงานทั้งหมด 10,514 หัวจ่ายจึงจะเพียงพอต่อความต้องการ และ การพยากรณ์ระยะไกล ต้องจัดตั้งสถานีทั้งหมด 63 แห่งใน 63 อำเภอในภาคตะวันออกของประเทศไทยและต้องมีหัวจ่ายพลังงานทั้งหมด 17,930 หัวจ่ายจึงจะเพียงพอต่อความต้องการ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

620920101 : Major ENGINEERING MANAGEMENT
Keyword : Base Diffusion Model, Patent Analysis, Bibliometric Analysis, Set Covering Problem, Optimization Problems, Electric Vehicle Transfer Stations

MR. Tawanchan PHITHAKPRAWET : Forecasting the Adoption Technology of Personal Electric Vehicles in Thailand Thesis advisor : Assistant Professor Dr. Woraruthai Choothian

This research describes a study made into find out Forecasting the Adoption Technology of Personal Electric Vehicles in Thailand and demonstrates guidelines for establishing electric vehicle transfer stations that is sufficient to meet the needs of electric vehicle users in the eastern region of Thailand. In this paper, the adoption was forecasted using the base diffusion model. Patent Analysis and Bibliometric Analysis were used to determine the trend of diffusion. And use the Set Covering Problem to solve the Optimization Problems to identify the locations of electric vehicle transfer stations to cover the needs of electric vehicle users as thoroughly and as possible. After forecasting, it was found that the results of the forecast using the bibliometric analysis using the bass diffusion model are more accurate with actual data on EV usage in Thailand than the forecast using the patent analysis. Thus, the forecasting model by using the bibliometric analysis could be reliable and suitable to use as a guide for governments and private sectors. The forecasting curve shows that the number of personal EV adopters would begin gradually increasing in 2046. During this period, it is appropriate to prepare to develop infrastructure to support EV users. From solving the Optimization Problems by modeling the Set Covering Problem according to the forecast phases, it was found: Near-Term; a total of 26 stations must be established in 26 districts to cover the entire area and there must be a total of 3,459 charger to be sufficient to meet the needs, Medium-Term; a total of 56 stations must be established in 56 districts to cover the entire area and there must be a total of 10,514 charger to be sufficient to meet the needs, Long-Term; a total of 63 stations must be established in 63 districts to cover the entire area and there must be a total of 17,930 charger to be sufficient to meet the needs.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะสำเร็จไปไม่ได้หากไม่ได้รับความกรุณาจาก อาจารย์ ดร. วรฤทัย ชูเทียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และกรรมการภายใน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คเณศ พันธุ์สวาสดิ์ ประธานกรรมการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุฑามาศ ชุมลักษณ์ กรรมการภายนอกที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ ตลอดจนการตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่องในการดำเนินงานวิจัยและการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านด้วยความเคารพอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่าน ที่สั่งสอนและให้ความรู้และแนวคิดรวมไปถึงประสบการณ์ต่าง ๆ แก่ผู้วิจัย ยิ่งไปกว่านั้นการศึกษาครั้งนี้จะประสบความสำเร็จไปไม่ได้หากขาดการสนับสนุนของบิดาและมารดาตลอดจนญาติพี่น้องทุกคนที่เป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัย รวมถึงเพื่อน ๆ ที่คอยให้คำแนะนำและความช่วยเหลือเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา ผู้วิจัยขอน้อมบูชาพระคุณบิดามารดาและบูรพาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนวิชาความรู้และให้ความเมตตาแก่ผู้วิจัยมาตลอดจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ตะวันฉาน พิทักษ์ประเวช

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฏ

สารบัญรูปภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 15

บทนำ 15

1.1 ที่มาและความสำคัญ 15

1.2 นิยามคำศัพท์ 17

1.3 วัตถุประสงค์ 18

1.4 ขอบเขตการวิจัย 18

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 18

บทที่ 2 19

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19

2.1 ข้อมูลรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลเบื้องต้น 20

2.2 การพยากรณ์เทคโนโลยี (Technology Forecasting) 26

2.3 การแพร่กระจายและการยอมรับนวัตกรรม 28

2.4 เส้นโค้งการเติบโต (Growth Curves) 30

2.5 แบบจำลองการกระจายตัวของเบส (Bass Diffusion Model) 33

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลสิทธิบัตร (Patent Analysis) 34

2.7 การวิเคราะห์บรรณมิติ (Bibliometric Analysis) 35
2.8 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ช่วยในการตัดสินใจ 37
2.9 การวิจัยดำเนินงาน (Operations Research: OR) 39
2.10 ปัญหาการหาค่าที่เหมาะที่สุด (Optimization Problems) 40
2.11 การแก้ปัญหาการปกคลุมเซต (Set Covering Problem) 47
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 48
บทที่ 3 53
วิธีการดำเนินงานวิจัย 53
3.1 ศึกษาข้อมูลในประเทศไทยปัจจุบัน 54
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสิทธิบัตร (Patent Analysis) 56
3.3 วิเคราะห์ข้อมูลบรรณมิติ (Bibliometric Analysis) 58
3.4 การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย 58
3.5 ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับระบุที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า 62
บทที่ 4 65
ผลการดำเนินงานวิจัย 65
4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสิทธิบัตร (Patent Analysis) 65
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลบรรณมิติ (Bibliometric Analysis) 68
4.3 การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย 71
4.4 การวางตำแหน่งที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า 75
บทที่ 5 89
สรุปผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ 89
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 89
5.2 ข้อเสนอแนะ 96
ภาคผนวก 97

ภาคผนวก ก 98
ภาคผนวก ข 100
ภาคผนวก ค 104
ภาคผนวก ง 106
ภาคผนวก จ 108
ภาคผนวก ฉ 111
ภาคผนวก ช 115
ภาคผนวก ญ 120
รายการอ้างอิง 124
ประวัติผู้เขียน 130

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ความสามารถในการทำงานของรถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด 20
ตารางที่ 2.2 หมวดหมู่เคมีในเซลล์ในแบตเตอรี่แต่ละประเภท 24
ตารางที่ 2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการสร้างเส้นโค้งการเจริญเติบโต 32
ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างปัญหาพื้นฐานของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด 44
ตารางที่ 3.5 คำเรียกเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าที่ถูกเรียกโดยหน่วยงานต่าง ๆ 57
ตารางที่ 4.6 อำเภอที่เลือกตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานฯ ในการพยากรณ์ระยะใกล้ 82
ตารางที่ 4.7 อำเภอที่เลือกตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานฯ ในการพยากรณ์ระยะกลาง 83
ตารางที่ 4.8 สถานีในอำเภอในภูมิภาคตะวันออกของประเทศไทย 86
ตารางที่ 5.9 สัดส่วนการยอมรับเทคโนโลยีของกลุ่มคนในสังคม 91
ตารางที่ 5.10 สัดส่วนการยอมรับเทคโนโลยีของกลุ่มคนในสังคมในภาคตะวันออกของไทย 93
ตารางที่ 5.11 ภาพรวมการตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานฯ ในแต่ละระยะของการพยากรณ์ 94

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 เส้นโค้งการยอมรับเทคโนโลยี 29

ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 53

ภาพที่ 3.3 จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมที่ใช้งานอยู่ทั่วโลก 54

ภาพที่ 3.4 จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลสะสมตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ 55

ภาพที่ 4.5 จำนวนสิทธิบัตรที่จดทะเบียนในแต่ละปี 65

ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสิทธิบัตรที่จดทะเบียนในแต่ละปีกับจำนวนสิทธิบัตรที่จดทะเบียนสะสมย้อนหลัง 1 ปี 66

ภาพที่ 4.7 แผนภาพ Fitted Line Plot ของจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า66

ภาพที่ 4.8 จำนวนวารสารวิชาการที่จดทะเบียนในแต่ละปี 68

ภาพที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวารสารวิชาการที่จดทะเบียนในแต่ละปีกับจำนวนวารสารวิชาการที่จดทะเบียนสะสมย้อนหลัง 1 ปี 69

ภาพที่ 4.10 แผนภาพ Fitted Line Plot ของจำนวนวารสารวิชาการ 69

ภาพที่ 4.11 แนวโน้มจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในไทยจากการพยากรณ์ด้วยจำนวนสิทธิบัตร 72

ภาพที่ 4.12 แนวโน้มจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในไทยจากการพยากรณ์ด้วยจำนวนวารสารวิชาการ 73

ภาพที่ 4.13 แนวโน้มการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในไทยที่พยากรณ์ด้วยจำนวนสิทธิบัตรและจำนวนวารสารวิชาการ เทียบกับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในไทย 74

ภาพที่ 4.14 ตัวอย่างระยะทางระหว่างอำเภอของจังหวัดจันทบุรี 77

ภาพที่ 4.15 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง IF ของโปรแกรม Excel 77

ภาพที่ 4.16 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง SUMPRODUCT เพื่อกำหนดเงื่อนไขของโจทย์ 78

ภาพที่ 4.17 ตัวอย่างข้อมูลและสมการที่ใช้ในโปรแกรมคำนวณ 79

ภาพที่ 4.18 สมการเป้าหมายและสมการข้อจำกัดในโปรแกรมคำนวณ 80

ภาพที่ 5.19 แนวโน้มการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในไทยที่พยากรณ์จากจำนวนวารสารวิชาการ และการแพร่กระจายของเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในไทย 90
ภาพที่ 5.20 ระยะการเพิ่มขึ้นของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย 91
ภาพที่ 5.21 ตำแหน่งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่จัดตั้งในแต่ละระยะ 95

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันหลายประเทศให้ความสำคัญเกี่ยวกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเป็นลำดับต้น ๆ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของสภาวะมลพิษและวิกฤตด้านสภาพอากาศที่ร้อนขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดหลายปีที่ผ่านมา ซึ่งเป็นผลมาจากระดับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศที่เพิ่มสูงขึ้น และการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง อาทิ การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง หรือการเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านหิน แม้แต่ ภาคการเกษตรหรือภาคปศุสัตว์ ก็ล้วนแล้วแต่เป็นการเพิ่มปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งสิ้น สิ่งเหล่านี้ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกที่ทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมาอีกมากมาย ซึ่งหน่วยงานที่เป็นสาเหตุหลักในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งทำให้เกิดภาวะเรื่องกระจกก็คือ หน่วยงานภาคคมนาคมหรือการขนส่ง

จากข้อมูลของภาคคมนาคมในสหภาพยุโรปพบว่า มีการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น 19% ระหว่างปี ค.ศ. 1990 ถึง ปี ค.ศ. 1999 ซึ่งในปี ค.ศ. 1997 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคคมนาคมคิดเป็น 74.2% ของการปล่อยมลพิษทั้งหมด ในขณะที่ในปี ค.ศ. 1998 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคคมนาคมเพิ่มขึ้นเป็น 84% ของการปล่อยมลพิษทั้งหมด และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นรวมเป็น 15% ในปี ค.ศ. 2015 และเพิ่มขึ้นรวมเป็น 30% ในปี ค.ศ. 2030 [1] เมื่อพิจารณาถึงระดับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทยพบว่า ภาคการขนส่งมีระดับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงมากเป็นอันดับที่ 3 รองจากภาคการผลิตไฟฟ้าและภาคอุตสาหกรรม ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 28 ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของทุกภาคเศรษฐกิจ [2]

การใช้รถยนต์สันดาปภายในเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ภาคการขนส่งเป็นภาคที่มีระดับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เนื่องจากรถยนต์สันดาปภายในใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศเนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจากสถิติพบว่าจำนวนรถยนต์สะสมที่มีการจดทะเบียนตลอดปี พ.ศ. 2561 มีอยู่กว่า 39.6 ล้านคัน ซึ่งรถที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 - 20 ปี มีจำนวนมากกว่า 1.6 ล้านคัน [3] นั้นแสดงให้เห็นว่าภาคการขนส่งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นอย่างมาก กลายเป็นปัญหาข้างต้นที่ทำให้ทั่วโลกตระหนักถึงและให้ความสำคัญในการแก้ไขปัญหา

จากปัญหาสิ่งแวดล้อมข้างต้น ส่งผลให้รัฐบาลในหลายประเทศมีนโยบายสนับสนุนการใช้ยานพาหนะไฟฟ้าซึ่งเป็นหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพสำหรับการขนส่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม [4] เนื่องจากยานพาหนะไฟฟ้าไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหมือนกับยานพาหนะสันดาปภายใน ทำให้ไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ นอกจากนี้ยานพาหนะไฟฟ้ายังช่วยลดมลพิษทางเสียงได้อีกเนื่องจากไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยเครื่องยนต์ และใช้เพียงมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังให้ยานพาหนะเท่านั้น ยิ่งไปกว่านั้นยานพาหนะไฟฟ้ายังมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงกว่ายานพาหนะสันดาปภายใน รวมทั้งประหยัดเชื้อเพลิงและลดค่าบำรุงรักษาได้อีกด้วย

ปัจจุบันหลายประเทศเริ่มมีการนำยานพาหนะไฟฟ้าเข้ามาใช้เพื่อลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมดังกล่าว ซึ่งสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้จริง เช่น ในประเทศจีนมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าประเภทปลั๊กอินเข้ามาทดลองใช้ ซึ่งทำให้สามารถลดการใช้น้ำมันเบนซินลงได้ถึง 1.6 พันล้านลิตร และสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ถึง 611,824 ตัน เช่นเดียวกับในประเทศอิตาลีและเยอรมันที่มีการนำยานพาหนะไฟฟ้ามาใช้และสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้ถึง 22% ในประเทศอิตาลี และ 39% ในประเทศเยอรมัน [5] เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าราว 5 ล้านคันทั่วโลกโดยมีสัดส่วนเป็น 0.4% จากรถยนต์ทั่วโลก โดยเมื่อสิ้นสุดปี ค.ศ. 2018 มีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าอยู่ 2 ล้านคัน ซึ่งประเทศที่มียอดขายยานยนต์ไฟฟ้าสูงที่สุดคือ ประเทศจีนซึ่งครองสัดส่วน 55% รองลงมาคือประเทศสหรัฐฯ ซึ่งมีสัดส่วนเป็น 18% ของยอดขายรถยนต์ไฟฟ้าทั่วโลก นอกจากนี้หลายประเทศยังหันมาออกนโยบายเพื่อทยอยลดการขับขี่รถยนต์น้ำมัน เช่น ฝรั่งเศส ไต้หวัน แคนาดา ได้มีการวางแผนเพื่อยกเลิกการใช้รถยนต์ที่ใช้น้ำมันภายในปี 2040 ทำให้รถยนต์ที่ใช้น้ำมันในตลาดเกิดการชะลอตัว และทำให้รถยนต์ไฟฟ้าเริ่มครองตลาดมากขึ้น จนหลายหน่วยงานคาดว่าจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าจะเติบโต 17-26% ต่อปี และปี 2040 คาดว่าจะมีรถยนต์ไฟฟ้ารวมทั้งโลกราว 150-550 ล้านคัน คิดสัดส่วนเป็น 31%-55% ของยอดขายรถยนต์ทั้งหมด [6]

สำหรับในประเทศไทยยานพาหนะไฟฟ้าส่วนบุคคลเริ่มเข้ามามีบทบาทมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่การขับเคลื่อนด้านการส่งเสริมการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยยังไม่สามารถรองรับความต้องการใช้งานได้อย่างเพียงพอ อีกทั้งประเทศไทยยังไม่ใช่ประเทศผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งจะต่างจากประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้าหลายบริษัท จึงทำให้มาตรการส่งเสริมการใช้รถยนต์ไฟฟ้าของประเทศสหรัฐอเมริกาสามารถทำได้ในหลายมิติมากกว่า ด้วยเหตุนี้ประเทศไทยจึงยังต้อง

อาศัยการนำเข้ารถยนต์ไฟฟ้าที่ผลิตในต่างประเทศ นอกจากนี้ประเทศไทยยังขาดโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นต่อการรองรับการผลิตและการใช้รถยนต์ไฟฟ้า เช่น โรงไฟฟ้าที่จะผลิตไฟให้เพียงพอต่อความต้องการในการใช้รถยนต์ไฟฟ้า, สถานีให้บริการชาร์จไฟฟ้า และระบบชาร์จไฟเร่งด่วน เป็นต้น อีกทั้งยังขาดนโยบายภาครัฐที่สนับสนุนให้เกิดการลงทุนในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อลดอุปสรรคในการผลิต เช่น นโยบายส่งเสริมการลงทุน, การกำหนดมาตรฐาน, การลดภาษีนำเข้าชิ้นส่วน, เครื่องยนต์หรือแบตเตอรี่ ประกอบกับประเทศไทยยังขาดมาตรการหรือนโยบายที่ช่วยในการส่งเสริมการใช้รถยนต์ไฟฟ้าเพื่อให้คนหันมาสนใจเลือกใช้รถยนต์ไฟฟ้ามากยิ่งขึ้น เช่น การยกเว้นค่าธรรมเนียมตรวจสภาพรถยนต์ การยกเว้นค่าผ่านทางพิเศษ การยกเว้นค่าจอดรถและที่จอดพิเศษสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า สิทธิพิเศษในการทำประกันภัยสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเลือกใช้รถยนต์ไฟฟ้าแทนการใช้รถยนต์สันดาปภายในได้แก่ ราคารถยนต์ไฟฟ้า ,ประสิทธิภาพของรถยนต์ไฟฟ้า , โครงสร้างพื้นฐานของรถยนต์ไฟฟ้า ตามลำดับ [7]

อย่างไรก็ตามการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้อย่างจริงจังในประเทศไทยจำเป็นต้องมีการวางแผนและการใช้มาตรการของภาครัฐช่วยส่งเสริมในด้านต่าง ๆ เช่น การจัดทำนโยบายสนับสนุนการใช้รถยนต์ไฟฟ้า ทั้งในเรื่องการให้ความรู้เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าอย่างถูกต้องและเกิดการยอมรับในเทคโนโลยีนี้ หรือการสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า รวมถึงการสนับสนุนองค์กรภาคเอกชนที่ผลิตรถยนต์ไฟฟ้าด้วยเช่นกัน การเตรียมการสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เหล่านี้ถือได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ควรเตรียมให้พร้อมเพื่อรองรับการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยและเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับประชาชนที่ต้องการใช้รถยนต์ไฟฟ้า ทั้งนี้การวางแผนเพื่อจัดทำนโยบายสนับสนุนการใช้รถยนต์ไฟฟ้า ต้องทราบถึงปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าที่จะมีใช้ในประเทศไทยในอนาคต ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อพยากรณ์จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่จะมีใช้ในประเทศไทยในอนาคต เพื่อเสนอแผนนโยบายส่งเสริมและสนับสนุนการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย ให้เพียงพอต่อความต้องการในอนาคต

1.2 นิยามคำศัพท์

1.2.1 BEV คือ ยานยนต์ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนเพียงอย่างเดียว

1.2.2 สถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า คือ สถานีที่ใช้เติมเชื้อเพลิงให้กับรถยนต์ไฟฟ้า

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 พยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยในอนาค

1.3.2 หาจำนวนและกำหนดจุดสร้างสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในภาคตะวันออกของประเทศไทย

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 งานวิจัยนี้จะทำการศึกษารถยนต์ไฟฟ้า BEV ส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง

1.4.2 งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเฉพาะสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังง่ายสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

1.4.2 งานวิจัยนี้ศึกษาการตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังง่ายสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าเฉพาะภูมิภาคตะวันออกของประเทศไทย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่จะมีใช้ในประเทศไทยในอนาคต

1.5.2 ทราบจำนวนและตำแหน่งที่ตั้งสถานีชาร์จเพื่อรองรับรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่จะมีใช้ในประเทศไทย

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในครั้งนี้ ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพยากรณ์จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่จะนำมาใช้ในประเทศไทยและกำหนดแผนนโยบายส่งเสริมการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย ดังนั้นในบทนี้จึงจะกล่าวถึงทฤษฎีและแนวคิดที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและนำมาใช้ในการช่วยวิเคราะห์เพื่อพยากรณ์จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่จะนำมาใช้ในประเทศไทยและแนวคิดในการกำหนดแผนนโยบายส่งเสริมการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย โดยผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานตามลำดับ ดังนี้

2.1 ข้อมูลรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลเบื้องต้น

2.2 การพยากรณ์เทคโนโลยี (Technology Forecasting)

2.3 ทฤษฎีการแพร่กระจายนวัตกรรม (Diffusion of Innovation)

2.4 การยอมรับนวัตกรรม (Adoption of Innovation)

2.5 เส้นโค้งการเติบโต (Growth Curves)

2.6 แบบจำลองการกระจายตัวของเบส (Bass Diffusion Model)

2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลสิทธิบัตร (Patent Analysis)

2.8 การวิเคราะห์บรรณมิติ (Bibliometric Analysis)

2.9 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ช่วยในการตัดสินใจ (Mathematical Models for Decision Making)

2.10 การวิจัยดำเนินงาน (Operations Research: OR)

2.11 ปัญหาการหาค่าที่เหมาะที่สุด (Optimization Problems)

2.12 การแก้ปัญหาการปกคลุมเซต (Set Covering Problem)

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลเบื้องต้น

2.1.1 ประเภทของรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคล

รถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle, EV) คือรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นการขับเคลื่อนด้วย มอเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว หรือทำงานร่วมกับเครื่องยนต์ โดยสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ [8]

1) รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานผสมหรือไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle, HEV) เป็นยานยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในทำงานร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อน และสามารถแบ่งตามฟังก์ชันการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าได้ 3 ประเภทดังนี้ [8]

   1.1 Micro Hybrid (Start & Stop, S&S)

   1.2 Mild Hybrid (MHEV)

   1.3 Full Hybrid (FHEV)

ตารางที่ 2.1 ความสามารถในการทำงานของรถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด

การทำงาน	ประเภทของรถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด		
	Micro Hybrid (Start & Stop, S&S)	Mild Hybrid (MHEV)	Full Hybrid (FHEV)
ดับเครื่องยนต์เมื่อยานยนต์ไม่เคลื่อนที่ และติดเครื่องเมื่อผู้ขับขี่เหยียบคันเร่งเพื่อให้ยานยนต์เคลื่อนที่ (Idle Start/ Stop)	✓	✓	✓
เปลี่ยนพลังงานที่สูญเสียจากการเบรกกลับมาเป็นพลังงานไฟฟ้า (Regenerative Braking)	✓	✓	✓
ช่วงเสริมแรงบิดให้แก่เครื่องยนต์(Electric Torque Assistance)	-	✓	✓
ทำหน้าที่ในการขับเคลื่อน (Electric driving)	-	-	✓

การทำงาน	ประเภทของรถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด		
	Micro Hybrid (Start & Stop, S&S)	Mild Hybrid (MHEV)	Full Hybrid (FHEV)
แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (Battery Voltage)	12	48/160	200-300
ประเภทของแบตเตอรี่ที่นิยมใช้(Types of Battery)	Lead-acid	Li-ion/NiMH	Li-ion/NiMH

2) รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานผสมแบบเสียบปลั๊ก หรือปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) เป็นยานยนต์มีลักษณะการทำงานและชิ้นส่วนต่างๆ คล้ายกับยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด แต่มีระบบประจุไฟฟ้าจากภายนอกเพิ่มเติมเข้ามา เนื่องจากยานยนต์ประเภทนี้ สามารถประจุไฟฟ้าจากภายนอกได้ จึงทำให้ยานยนต์ประเภทนี้มีความสามารถขับขี่โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวได้ระยะทางมากกว่ารถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด แต่เนื่องจากแบตเตอรี่มีขนาดใหญ่ทำให้มีราคาสูงกว่ายานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด [8]
3) รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) เป็นยานยนต์ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนเพียงอย่างเดียวทำให้ส่วนมากมีแบตเตอรี่ที่มีขนาด ใหญ่มากกว่ายานยนต์ไฟฟ้าชนิดอื่น และเนื่องจากมีความกังวลถึงระยะทางใช้งานของรถยนต์ไฟฟ้าต่อการประจุไฟฟ้า 1 ครั้ง ทำให้ผู้ผลิตรถยนต์บางรายติดตั้งเครื่องยนต์ขนาดเล็กเพื่อเพิ่มระยะทางในการใช้งาน โดยเครื่องยนต์ดังกล่าวมีหน้าที่ปั่นไฟเพื่อประจุไฟฟ้าสู่ แบตเตอรี่เพียงเท่านั้น โดยมีชื่อเรียกรถยนต์ไฟฟ้าประเภทนี้ว่า Range Extender Battery Electric Vehicle [8]
4) รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) ยานยนต์ชนิดนี้ใช้มอเตอร์เป็นกำลังหลักในการขับเคลื่อนเช่นเดียวกับยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ แต่แหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้านั้นต่างกัน เนื่องจากยานยนต์ชนิดนี้กักเก็บพลังงานอยู่ในรูปของก๊าซไฮโดรเจน และเมื่อมีความต้องการใช้ไฟฟ้า ก๊าซไฮโดรเจนจะถูกนำไปทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนในอากาศที่เซลล์เชื้อเพลิง โดยยานยนต์ชนิดนี้จะไม่ก่อมลพิษ

ทางอากาศเนื่องจากเมื่อยานยนต์ใช้พลังงานจะปล่อยน้ำออกสู่บรรยากาศเท่านั้น โดยยานยนต์ประเภทนี้อยู่ในขั้นการวิจัย ยังไม่ถูกผลิตออกมาจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ [8]

2.1.2 องค์ประกอบและชิ้นส่วนหลักของรถยนต์ไฟฟ้า (BEV)

อย่างที่ทราบกันดีว่ารถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลมีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่ และในการขับเคลื่อนจะมีการดึงเอาพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ออกมาให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อส่งพลังงานให้กับระบบเพลา แตกต่างกับรถยนต์เครื่องยนต์สันดาป ที่จะต้องใช้เครื่องยนต์และน้ำมันเป็นเชื้อเพลิงในการจุดระเบิดและให้พลังงานในการขับเคลื่อน จึงทำให้รถยนต์ไฟฟ้าไม่จำเป็นที่จะต้องมีเครื่องยนต์และระบบส่งกำลัง ดังนั้นองค์ประกอบของรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลจึงประกอบไปด้วย [9]

1) มอเตอร์ไฟฟ้า (Motor) ทำหน้าที่ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานจลน์เพื่อใช้ในการขับเคลื่อน เมื่อทำการเปรียบเทียบการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องยนต์จะพบว่ามอเตอร์ไฟฟ้านั้นมีความเงียบมากกว่าเครื่องยนต์ในระหว่างการทำงาน อีกทั้งในเรื่องของการสั่นสะเทือนก็มีระดับที่น้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ จึงทำให้ผู้ที่มาขับรถยนต์ไฟฟ้าเป็นครั้งแรกมักจะมีความแปลกใจกับเสียงที่เงียบมากในระหว่างการขับขี่ นอกจากนี้ในขณะที่รถยนต์ไฟฟ้ามีการเบรคหรือลงจากเขา มอเตอร์ไฟฟ้ายังมีความสามารถในการแปลงพลังงานจลน์กลับเป็นไปเป็นพลังงานไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ เราเรียกระบบการทำงานแบบนี้ว่า "Regenerative Braking System" ซึ่งจะทำให้รถยนต์ไฟฟ้ามีความประหยัดพลังงานขึ้นไปอีก [9]
2) Reducer ทำหน้าที่เสมือนเป็นระบบชุดเกียร์ในรถยนต์เครื่องยนต์สันดาป โดยจะทำการส่งผ่านกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าไปสู่ระบบเพลาขับเคลื่อนให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สาเหตุที่ชื่อว่า Reducer นั้นมาจากรอบการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้านั้นสูงมากกว่ารอบการทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายในนั่นเอง [9]
3) Battery แบตเตอรี่ทำหน้าที่เสมือนเป็นถังน้ำมันในรถยนต์เครื่องยนต์สันดาป โดยขนาดของแบตเตอรี่ก็จะส่งผลโดยตรงกับระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าจะสามารถวิ่งได้ แต่ถึงอย่างนั้นเราก็ไม่ควรออกแบบขนาดของแบตเตอรี่ให้มีขนาดที่ใหญ่จนเกินไปเพราะจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของตัวรถเนื่องจากขนาดและน้ำหนักของแบตเตอรี่ที่สูง ด้วยเทคโนโลยีของแบตเตอรี่ที่มีการเติบโตอย่างรวดเร็วเราก็อาจได้เห็นรถยนต์ไฟฟ้าที่มีระยะทางวิ่งได้ไกลขึ้นถึง 800 กม. และมีระยะเวลาในการชาร์จที่สั้นลง เช่น แบตเตอรี่แบบ Solid

State เป็นต้น นอกจากนี้ในสภาวะอากาศเย็นมากๆ ประสิทธิภาพในด้านความจุและความเร็วในการชาร์จของแบตเตอรี่จะลดลง ทำให้จำเป็นต้องมี "Battery Heating System" เข้ามาช่วยรักษาอุณหภูมิให้แบตเตอรี่สามารถทำงานได้ในช่วงปกติได้ [9]

4) On-board Charger(OBC) ทำหน้าที่ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับจากที่ชาร์จระบบ AC เช่น Home Charger หรือสายชาร์จที่แถมมากับตัวรถ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) นั่นหมายถึงในกรณีที่เรามีการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าผ่านเครื่องชาร์จแบบ DC เช่น EV Station เป็นต้น On-board Charger ก็จะไม่จำเป็นต้องทำงานในกรณีนี้เนื่องจากเครื่องชาร์จได้มีการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแล้ว [9]

5) Electric Power Control Unit (EPCU) เป็นส่วนสำคัญในการควบคุมกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ภายในตัวรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด โดยประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้ [9]

5.1) Inverter: ทำหน้าที่ในการแปลงกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อส่งต่อให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า อีกทั้งยังควบคุมความเร็วในการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าในขณะที่รถมีอัตราเร่งหรือหน่วงจากผู้ขับขี่

5.2) Low voltage DC-DC Converter (LDC): ทำหน้าที่ในการแปลงความต่างศักย์ที่สูงจากแบตเตอรี่ ให้ลดลงเหลือ 12 Volt เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆภายในตัวรถ

5.3) Vehicle Control Unit (VCU): เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในระบบ EPCU เนื่องจากทำหน้าที่ในการควบคุมและตรวจสอบการทำงานของหน่วยควบคุมส่วนอื่นๆ ทั้งหมดของตัวรถ อาทิเช่น หน่วยควบคุมของมอเตอร์ไฟฟ้า, ระบบ Regenerative Braking รวมถึงระบบ Power Supply ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่ง VCU นั้นเปรียบเทียบได้กับ ECU ในรถยนต์เครื่องยนต์สันดาป

จากองค์ประกอบและชิ้นส่วนหลักของรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลจะเห็นได้ว่า แบตเตอรี่เป็นจุดเริ่มต้นของการขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า ดังนั้นแบตเตอรี่และระบบแบตเตอรี่จึงมีผลกระทบอย่างมากต่อการบริโภคพลังงานซึ่งมีผลต่อระยะทางใช้งาน ต้นทุนและอายุการใช้งานของรถยนต์ไฟฟ้า [10], [11]

2.1.3 ประเภทแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคล

การวิจัยและพัฒนาแบตเตอรี่ครอบคลุมความหลากหลายของเคมีในเซลล์และวิธีทำให้การใช้งานประสบความสำเร็จ จาก European technology and innovation platform , European Commission's Joint Research Centre , EMIRI Roadmap ได้จำแนกหมวดหมู่ของเคมีในเซลล์ดังนี้ [12], [13], [14], [15]

ตารางที่ 2.2 หมวดหมู่เคมีในเซลล์ในแบตเตอรี่แต่ละประเภท

Battery	Electrodes active materials	Cell Chemistry / type
Gen 1	- Cathode: LFP, NCA - Anode: 100% carbon	Li-ion Cell
Gen 2a	- Cathode: NMC111 - Anode: 100% carbon	Li-ion Cell
Gen 2b	- Cathode: NMC523 to NMC622 - Anode: 100% carbon	Li-ion Cell
Gen 3a	- Cathode: NMC622 to MNC811 - Anode: carbon (graphite) + Silicon content (5–10%)	Optimized Li-ion
Gen 3b	- Cathode: HE-MNC, HVS (high-voltage spinel) - Anode: silicon / carbon	Optimized Li-ion
Gen 4a	- Cathode: NMC - Anode: Si/C - Solid electrolyte	Solid State Li-ion
Gen 4b	- Cathode: NMC - Anode: lithium metal - Solid electrolyte	Solid State Li-ion
Gen 4c	- Cathode: HE-MNC, HVS (high-voltage spinel) - Anode: lithium metal - Solid electrolyte	Advance Solid State
Gen 5	- Li | O_2 – lithium air / metal air - Conversion materials (primarily Li | S) - new ion-based systems (Na, Mg or Al)	New cell gen: metal-air / conversion chemistries / new ion-based insertion chemistries

ในปัจจุบันวิวัฒนาการด้านแบตเตอรี่ได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคาย/ประจุไฟใหม่ และอื่น ๆ หากจัดประเภทของแบตเตอรี่ลิเทียมตามวัสดุที่นิยมนามาใช้เป็นขั้วแคโทด ซึ่งขั้วอิเล็กโทรดบวกนี้จะประกอบไปด้วยสารประกอบลิเทียมซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 6 ชนิด ตามองค์ประกอบ ดังนี้ [16]

1) ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (lithium cobalt oxide) ผลิตจากลิเทียมคาร์บอเนต ($LiCoO_2$) และโคบอลต์ มีความจุประจุที่สูงนิยมใช้ในโทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊คและกล้องดิจิตอล โดยมีขั้วแคโทดเป็นโคบอลต์ออกไซด์ และมีแกรไฟต์เป็นขั้วแอโนด มีสัดส่วนการใช้งานประมาณร้อยละ 75 อย่างไรก็ดีแบตเตอรี่ชนิดนี้มีข้อจากัดบางอย่าง คือ ช่วงการใช้งานสั้น (short lifespan) จึงต้องมีการประจุไฟใหม่บ่อยครั้งกว่า [16]

2) ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ (lithium manganese oxide: LMO) ผลิตจากลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ ($LiMn_2O_4$) หรืออาจเรียกว่า lithium manganese spinel โดยเทคโนโลยีดังกล่าวถูกค้นพบในยุค ค.ศ. 1980 และถูกนามาผลิตเพื่อใช้งานครั้งแรกในปี ค.ศ. 1996 โดย Moli Energy จัดว่ามีความเสถียรทางอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งานมากกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น ๆ มักใช้งานในอุปกรณ์การแพทย์ อุปกรณ์ชาร์จและอื่น ๆ มีสัดส่วนการใช้งานร้อยละ 8

3) ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต (lithium iron phosphate) ผลิตจาก $LiFePO_4$ มีสัดส่วนการใช้งานอยู่ที่ร้อยละ 2 มีความต้านทานต่ำ จึงส่งผลให้อุณหภูมิค่อนข้างเสถียร มีช่วงอายุการใช้งานยาวนานให้ความคุ้มค่าแต่ให้พลังงานที่ต่ำกว่า นิยมใช้ในแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ที่ต้องการอายุการใช้งานยาวนาน มีสัดส่วนการใช้งานที่ร้อยละ 2 [16]

*4) ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (lithium nickel manganese cobalt oxide : NMC)*หรือ $Li\ Ni_{1/3}\ Mn_{1/3}\ Co_{1/3}\ O_2$ มีองค์ประกอบของนิกเกิล แมงกานีสและโคบอลต์อย่างละ 1/3 เพื่อให้ได้แบตเตอรี่ที่มีกำลังมาก ถูกนามาใช้งานในอุปกรณ์ชาร์จ รถยนต์และรถไฟขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า เนื่องจากมีอัตราเกิดความร้อนต่ำ (low self-heating rate) มีราคาถูกว่าชนิดลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์เนื่องจากมีสัดส่วนการใช้ปริมาณโคบอลต์ที่น้อยกว่า [16]

5) ลิเทียมนิกเกิลโคบอลต์อะลูมิเนียมออกไซด์ (lithium nickel cobalt aluminium oxide: NCA) ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย แต่เริ่มถูกนามาใช้งานมากขึ้นในรถไฟขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าและอุปกรณ์เก็บพลังงาน (Grid storage) มีราคาค่อนข้างแพง นิยมใช้ในยานยนต์ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าที่ต้องการพลังงานสูงและมีอายุการใช้งานยาวนาน และไม่พบปัญหาการติดไฟหรือระเบิด [16]

*6) ลิเทียมนิกเกิลออกไซด์ (*lithium *nickel oxide)* ผลิตจาก $LiNiO_2$ เป็นแคโทด [16]

2.2 การพยากรณ์เทคโนโลยี (Technology Forecasting)

การพยากรณ์เทคโนโลยี (Technology Forecasting: TF) เป็นวิธีการพยากรณ์สภาวะของเทคโนโลยีในอนาคต ซึ่งการพยากรณ์เทคโนโลยีนี้จะสามารถบอกได้ถึงรายละเอียดและข้อมูลเชิงปฏิบัติการเชิงลึกเกี่ยวกับแนวโน้มของเทคโนโลยีนั้น ๆ ในอนาคต ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการจัดการการวิจัยและพัฒนาทั้ง ในภาครัฐและเอกชน รวมไปถึงการกำหนดกลยุทธ์ในด้านต่าง ๆ ต่อไปในอนาคต ซึ่งการพยากรณ์เทคโนโลยีเปรียบเสมือนการคาดเดาเหตุการณ์ในอนาคต นั้นทำให้เกิดความซับซ้อนในการวิเคราะห์และผลที่ได้ก็อาจมีความไม่แน่นอน นั่นคือผลที่ได้จากการพยากรณ์อาจเกิดขึ้นจริงหรืออาจไม่เกิดขึ้นก็ได้ ทั้งนี้ทั้งนั้นความแม่นยำของแนวโน้มที่ได้ก็ขึ้นอยู่กับวิธีการพยากรณ์ที่เลือกใช้และข้อมูลก่อนหน้าของเทคโนโลยีนั้น ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์และอ้างอิง

วิธีการที่ใช้ในการพยากรณ์เทคโนโลยีมีหลากหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีความสำคัญและจุดประสงค์ในการใช้งานที่แตกต่างกัน ซึ่งนั่นทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ในแต่ละวิธีก็แตกต่างกันออกไปด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้รวบรวมและสืบค้นตัวอย่างวิธีการพยากรณ์ที่หลากหลายที่ใช้กันทั่วไปในการพยากรณ์เทคโนโลยีได้ดังต่อไปนี้ [17]

1. Technology trend analysis (การวิเคราะห์แนวโน้ม) เป็นวิธีการพยากรณ์เทคโนโลยีวิธีหนึ่ง ซึ่งหากเทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง แนวโน้มของเทคโนโลยีนี้จะถูกกำหนดโดยข้อมูลในอดีตและใช้ข้อมูลในอดีตที่ผ่านมานั้นมาใช้ในการคาดการณ์แนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในอนาคตซึ่งรูปแบบที่จะเกิดขึ้นในอนาคตขึ้นอยู่กับข้อมูลในอดีต [17]

2. Growth curves (เส้นโค้งการเติบโต) เป็นวิธีการพยากรณ์การเจริญเติบโตของเทคโนโลยีด้วยการประมาณค่าพารามิเตอร์ของเส้นโค้งการเติบโตเพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มของเส้นโค้งเทคโนโลยีการพยากรณ์ด้วยวิธีนี้จะสามารถบอกได้ว่าเทคโนโลยีนั้น ๆ จะได้รับการยอมรับและเข้าสู่ช่วงวัฏจักรในช่วงเวลาใด และสามารถบอกได้ว่าเทคโนโลยีนั้น ๆ จะออกจากช่วงวัฏจักรหรือสิ้นสุดวัฏจักรในช่วงเวลาใด [17]

3. Fisher-Pry analysis คือหนึ่งในรูปแบบของเส้นโค้งการเติบโต วิธีนี้เป็นวิธีการพยากรณ์โดยการใช้สูตรเส้นโค้งลอจิสติกเพื่อคาดการณ์รูปแบบของแนวโน้มและอัตราการยอมรับการใช้งานของผู้ที่ใช้เทคโนโลยีใหม่ [17]

4. Analogy analysis เป็นวิธีการพยากรณ์การเจริญเติบโตของเทคโนโลยีโดยการใช้สถานการณ์หรือเทคโนโลยีที่คล้ายคลึงกันหนึ่งสถานการณ์หรือหนึ่งเทคโนโลยีขึ้นไปเพื่อคาดการณ์แนวโน้มหรือเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยวิธีการพยากรณ์แบบนี้จะใช้ประโยชน์จากความ

คล้ายคลึงกันของสถานการณ์หรือเทคโนโลยีเพื่อสมมุติให้เทคโนโลยีใหม่มีลักษณะการเจริญเติบโตเท่ากับสถานการณ์หรือเทคโนโลยีที่เลือก [17]

5. Morphological matrices เป็นเครื่องมือนวัตกรรมที่ใช้ในขั้นตอนการออกแบบการแก้ปัญหา หรือช่วยในการออกแบบและสร้างสรรค์แนวคิด โดยการกำหนดหน้าที่หลักของผลิตภัณฑ์หรือบริการในปัจจุบัน จากนั้นทำการกำหนดหน้าที่อื่นให้กับผลิตภัณฑ์หรือบริการ โดยระดมแนวคิดทั้งหมดลงในตารางจากนั้นก็ร่วมวิธีเหล่านั้นเข้าด้วยกัน [17]

6. Patent analysis การวิเคราะห์สิทธิบัตร เป็นอีกหนึ่งวิธีการพยากรณ์แนวโน้มของเทคโนโลยี โดยการกำหนดจำนวน เทคนิค ประเภทและรูปแบบของสิทธิบัตรที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับเทคโนโลยีที่จะทำการพยากรณ์ เพื่อหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีใหม่นี้ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันในด้านอุตสาหกรรม ในด้านเทคโนโลยี หรือในด้านอื่น ๆ ก็ตาม [17]

7. Scenario Analysis (การวิเคราะห์สถานการณ์) เป็นกระบวนการวิเคราะห์เหตุการณ์ในอนาคตที่อาจจะเกิดขึ้น โดยพิจารณาถึงผลลัพธ์ที่เป็นไปได้จากเหตุการณ์ ทั้งนี้การวิเคราะห์สถานการณ์ไม่ได้เป็นการแสดงถึงเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอย่างแน่นอน แต่ตรงกันข้าม การวิเคราะห์สถานการณ์กลับแสดงให้เห็นถึงทางเลือกของการเกิดเหตุการณ์ในอนาคตที่น่าสนใจ และการวิเคราะห์สถานการณ์ไม่ได้จำเป็นต้องอ้างอิงกับข้อมูลในอดีตและไม่ได้คาดหวังว่าเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีตนั้นจะต้องเกิดขึ้นอีกในอนาคต ซึ่งผลของการวิเคราะห์สถานการณ์นั้นจะนำไปสู่การเสนอทางเลือกในการเผชิญกับเหตุการณ์ในอนาคตได้อย่างครอบคลุมมากขึ้น และทำให้สามารถเตรียมความพร้อมได้อย่างเหมาะสมยิ่งขึ้น [17]

8. Delphi survey เป็นวิธีการพยากรณ์เชิงคุณภาพที่ใช้แบบสอบถามหรือการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในแขนงต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เป็นแหล่งข้อมูลเพื่อนำแนวคิดที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญเหล่านั้นมาพยากรณ์ความเป็นไปได้หรือช่วงเวลาของเหตุการณ์ที่จะในอนาคต [17]

9. Relevance trees วิธีนี้เป็นแนวทางเชิงบรรทัดฐานในการระบุโครงสร้างลำดับชั้นของการพัฒนาเทคโนโลยี เป้าหมายและวัตถุประสงค์ของเทคโนโลยีจะถูกแสดงให้เห็นในลักษณะของลำดับชั้นจากสูงไปต่ำเหมือนแผนภูมิต้นไม้ [17]

10. Cross-impact analysis (การวิเคราะห์ผลกระทบไขว้) วิธีนี้เป็นส่วนเสริมของ Delphi survey เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์การพยากรณ์ในแง่ของผลกระทบ วิธีนี้จะศึกษาอิทธิพลของการเกิดเหตุการณ์หนึ่งที่มีผลต่อการเกิดเหตุการณ์อื่น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความน่าจะเป็นของ

เทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาและวิธีนี้มีวัตถุประสงค์คือการตรวจสอบอิทธิพลที่มีผลกระทบที่เกี่ยวข้องซึ่งกันและกันระหว่างเหตุการณ์ [17]

วิธีการพยากรณ์เทคโนโลยีได้ถูกนำมาศึกษาอย่างกว้างขวางโดยผู้วิจัยหลายท่าน และถูกนำไปใช้ในพยากรณ์เทคโนโลยีในด้านอุตสาหกรรมอย่างหลายอย่าง ซึ่งนักวิจัยส่วนใหญ่มักเลือกแสดงเส้นโค้งการเติบโตในรูปแบบของ เส้นโค้งตัว S และ Pearl Curves และ Gompertz Curves อาทิ

Daim, Rueda, Martin, and Pisek (2006) ใช้การวิเคราะห์บรรณานุกรมและการวิเคราะห์สิทธิบัตรของเทคโนโลยี เพื่อการคาดการณ์แนวโน้มของเทคโนโลยีในอนาคตเมื่อในปัจจุบันมีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะใช้ในการคาดการณ์แนวโน้มของเทคโนโลยีด้วยวิธีอื่น คณะผู้วิจัยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์สิทธิบัตรและบรรณานุกรม และใช้เส้นโค้งการเติบโตในการเปรียบการพยากรณ์เทคโนโลยี [18]

Dubaric, Giaznnocarro, Bengtsson และ Ackermann (2011) ใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลสิทธิบัตรในการพยากรณ์แนวโน้มของเทคโนโลยีเพื่อคาดการณ์แนวโน้มของเทคโนโลยีพลังงานลม [19]

Bengisu และ Nekhili (2006) ใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลบรรณานุกรมและสิทธิบัตรและใช้เส้นโค้งตัว S ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างวิธีเหล่านี้ [20]

2.3 การแพร่กระจายและการยอมรับนวัตกรรม

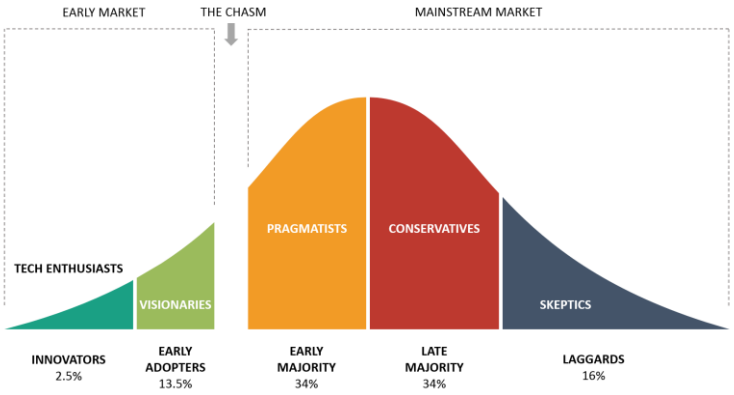
2.3.1 ทฤษฎีการแพร่กระจายนวัตกรรม (Diffusion of Innovation)

ทฤษฎีการแพร่กระจายของนวัตกรรม (DOI) ซึ่งพัฒนาโดย E.M. Rogers ในปี 1962 เป็นหนึ่งในทฤษฎีทางสังคมศาสตร์ที่เก่าแก่ที่สุด มีต้นกำเนิดมาจากการสื่อสารเพื่ออธิบายว่าเมื่อเวลาผ่านไป ความคิดหรือผลิตภัณฑ์ได้รับแรงผลักดันและกระจาย (หรือแพร่กระจาย) ผ่านประชากรหรือระบบสังคมที่เฉพาะเจาะจงได้อย่างไร ผลลัพธ์สุดท้ายของการแพร่กระจายนี้คือ ผู้คนซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบสังคม นำแนวคิด พฤติกรรม หรือผลิตภัณฑ์ใหม่มาใช้ การยอมรับหมายความว่าบุคคลทำสิ่งที่แตกต่างไปจากที่เคยทำมา (เช่น ซื้อหรือใช้ผลิตภัณฑ์ใหม่ ได้รับมาและทำพฤติกรรมใหม่ เป็นต้น) กุญแจสำคัญในการนำไปใช้คือบุคคลนั้นต้องรับรู้ความคิด พฤติกรรม หรือผลิตภัณฑ์ว่าเป็นสิ่งใหม่หรือนวัตกรรม การแพร่กระจายเป็นไปได้โดยวิธีนี้ ทฤษฎีนี้ตั้งอยู่บนข้อเท็จจริงที่ว่าผู้คนต่างมีแนวโน้มที่แตกต่างกันในการยอมรับผลิตภัณฑ์หรือแนวคิดใหม่ และนั่นส่งผลให้การยอมรับสิ่งใหม่ต้องใช้เวลาในขณะที่พวกเขาค่อยๆ ก่อตัวขึ้นเรื่อย ๆ

ทฤษฎีของโรเจอร์สได้รับความนิยมอย่างมากในช่วงทศวรรษ 1990 เขาจึงเขียนหนังสือชื่อ Diffusion of Innovations ซึ่งเป็นตำรามาตรฐานและข้อมูลอ้างอิงเกี่ยวกับการศึกษาการแพร่กระจาย โดยได้นิยามความหมายของการแพร่กระจายนวัตกรรมไว้ว่า เป็นกระบวนการซึ่งนวัตกรรมใดนวัตกรรมหนึ่งกระจายหรือขยายวงออกไปสู่กลุ่มบุคคลเป้าหมาย จนกระทั่งบุคคลเป้าหมายส่วนใหญ่ในกลุ่ม ยอมรับนวัตกรรมนั้นๆไปปฏิบัติ กระบวนการของการแพร่กระจายนวัตกรรม มุ่งเน้นที่การเดินทางของนวัตกรรมไปสู่ผู้รับ หรือบุคคลเป้าหมายโดยมีเวลาเป็นปัจจัยเกี่ยวข้องที่สำคัญ จากความหมายของการแพร่กระจายนวัตกรรม จะเห็นได้ว่าในการที่นวัตกรรมจะกระจายออกไปได้นั้นต้องการการดำเนินการที่มีการคิดเตรียมการ การวางแผนไว้ล่วงหน้าว่าจะกำหนดให้นวัตกรรมนั้นๆกระจายออกไปถึงใคร ที่ไหน อย่างไร ที่สำคัญอย่างยิ่งทั้งหมดนั้นก็คือการถ่ายทอดเทคโนโลยีนั่นเอง เพราะการที่จะปล่อยให้นวัตกรรมแพร่กระจายออกไปได้เองตามธรรมชาติเป็นเรื่องที่ต้องใช้เวลายาวนานมาก [21]

2.3.2 การยอมรับนวัตกรรม (Adoption of Innovation)

การยอมรับนวัตกรรม หมายถึง กระบวนการซึ่งบุคคลเป้าหมายเปิดรับ พิจารณา และท้ายที่สุดมีการปฏิเสธ (Reject) หรือยอมรับ/ปฏิบัติ (Practice/adopt) ตามนวัตกรรมใดนวัตกรรมหนึ่ง โดยมีกระบวนการที่เรียกว่าเป็น การตัดสินใจในนวัตกรรม (Innovation-Decision Procees) ตามทฤษฎีการแพร่กระจายนวัตกรรมของ เอเวอร์เร็ท โรเจอร์ส ได้แบ่งกลุ่มผู้ใช้งานออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ [21]



ภาพที่ 2.1 เส้นโค้งการยอมรับเทคโนโลยี

ที่มา : https://www.twfdigital.com/blog/2021/03/5-stages-of-technology-adoption/

1. Innovators (ผู้บุกเบิก)

ในกลุ่มนี้เรียกว่านักนวัตกรรมที่นับเป็นสัดส่วนที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 2.5% คือกลุ่มที่เปิดใจยอมรับเทรนด์ใหม่ ๆ ชอบความท้าทายและทดลองของใหม่ มักเป็นกลุ่มที่มีการศึกษาและสามารถยอมรับความเสี่ยงสูงได้ โดยคนกลุ่มนี้เต็มใจที่จะรีวิวสินค้าให้กับผู้อื่นเมื่อเขาได้ทดลองใช้สินค้าแล้ว [21]

2. Early Adopters (ผู้นำกระแส)

กลุ่มที่นำเทรนด์และนวัตกรรมใหม่ ๆ มีความเป็นผู้นำและมีหน้ามีตาในสังคมโดยมีอำนาจในการชักจูงผู้อื่น ซึ่งจะซื้อสินค้าที่ออกใหม่โดยไม่มีปัญหาเรื่องราคาของสินค้าที่ค่อนข้างสูงในช่วงแรกและมีแนวโน้มที่จะทำรีวิวสินค้าอีกด้วย [21]

3. Early Majority (ผู้ที่อยู่ในกระแส)

ผู้บริโภคกลุ่มนี้นับเป็นสัดส่วนที่มีมากที่สุดและเทียบเท่ากับกลุ่ม Late Majority โดยมีแนวโน้มที่จะซื้อสินค้าเมื่อสินค้าเป็นที่รู้จักและเริ่มเป็นกระแสแล้วเพราะกลุ่มนี้จะระมัดระวังเรื่องเทคโนโลยีและใช้เหตุผลในการตัดสินใจพอสมควรเพื่อดูความคุ้มค่าและมั่นใจว่าเทคโนโลยีนี้จะประสบความสำเร็จ [21]

4. Late Majority (ผู้ตามกระแส)

กลุ่มนี้จะเป็นกลุ่มที่ตามกระแสและใช้สินค้าต่อเมื่อมีคนใช้มากในจำนวนหนึ่ง โดยสินค้าถูกพูดถึงหรือมีรีวิวออกมาแล้ว และเป็นผู้ที่อ่อนไหวต่อราคา ในกลุ่มนี้จะไม่ซื้อของทันทีเมื่อออกใหม่และไม่ได้คำนึงถึงความคุ้มค่าต่อการใช้งานจริงมากกว่าการไม่ตกกระแส [21]

5. Laggards (ผู้ล้าหลัง)

กลุ่มล้าหลังที่จะซื้อสินค้าเมื่อเทคโนโลยีตกรุ่นและมีคนใช้ก่อนหน้าอยู่แล้ว ซึ่งมักจะเป็นกลุ่มผู้สูงอายุและผู้ที่ไม่มีความรู้เกี่ยวกับสินค้านั้น ๆ โดยสามารถดูรีวิวหรือสอบถามผู้ที่เคยใช้งานในสินค้านั้นได้ [21]

2.4 เส้นโค้งการเติบโต (Growth Curves)

เส้นโค้งการเจริญเติบโตได้รับการพัฒนาและได้รับความนิยมมาอย่างต่อเนื่อง สำหรับการใช้งานในการพยากรณ์แนวโน้มของเทคโนโลยี เนื่องจากมีความง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้เส้นโค้งการเจริญเติบโตถูกนำมาใช้กันมาอย่างยาวนานและกว้างขวาง แสดงให้เห็นถึงการใช้งานในด้านต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ ยิ่งไปกว่านั้นการนำเส้นโค้งการเจริญเติบโตมาใช้งานอย่างยาวนานช่วยยืนยันข้อสันนิษฐานที่ว่า ข้อมูลในอดีตสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์เพื่อพยากรณ์แนวโน้มของ

เทคโนโลยีในอนาคตได้อีกด้วย [22] เช่น เส้นโค้ง Logistic และ Gompertz เป็นรูปแบบของเส้นโค้งการเจริญเติบโตที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยในอดีตเส้นโค้งการเจริญเติบโตเหล่านี้ถูกใช้ในทางสาขาวิชาประชากรศาสตร์มาก่อน จากนั้นจึงมีการเริ่มนำมาใช้งานในการพยากรณ์เทคโนโลยีในภายหลัง [23]

ในปี 1925 ผู้วิจัยชื่อ Lotka ได้นำเส้นโค้ง Logistic ซึ่งเป็นหนึ่งในรูปแบบของเส้นโค้งการเจริญเติบโตมาใช้ในการศึกษาการกระจายของอายุของประชากรและอัตราการเพิ่มขึ้นตามธรรมชาติของประชากรในระบบนิเวศ นอกจากนี้ผู้วิจัยชื่อ Volterra ก็ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการพยากรณ์การเติบโตของประชากรในลักษณะเดียวกัน หลังจากนั้นแบบจำลองของ Lotka และ Volterra ก็ถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์แนวโน้มของประชากรและการแพร่กระจายของการแข่งขันทางระบบนิเวศ และต่อมาก็ได้มีการนำมาใช้เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีในตลาดการแข่งขันต่อไป หลังจากนั้นก็ได้มีผู้พัฒนาท่านอื่นอีกหลายท่านได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาสร้างรูปแบบการกระจายของเทคโนโลยีที่ใช้ค่าพารามิเตอร์คือค่าอัตราการเลียนแบบและค่าอัตราการนำมาใช้เพื่อนำมาคาดการณ์และสร้างเส้นโค้งการเจริญเติบโตในหลากหลายรูปแบบเช่น แบบจำลอง Mansfield-Blackman, แบบจำลอง Fisher-Pry, แบบจำลอง Extended Riccati, แบบจำลอง Bass และอื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งแบบจำลองเหล่านี้ล้วนแล้วแต่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการคาดการณ์รูปแบบของเส้นโค้งการเจริญเติบโตของเทคโนโลยีทั้งสิ้น ดังนั้นการเลือกใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในการสร้างเส้นโค้งการเจริญเติบโตของเทคโนโลยีนั้น จึงขึ้นอยู่กับข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันของเทคโนโลยีที่ต้องการพยากรณ์และคุณลักษณะเฉพาะของเทคโนโลยีนั้น ๆ นั่นคือเหตุผลที่นักพยากรณ์ส่วนใหญ่ทำการทดลองสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลากหลายรูปแบบเพื่อให้ได้เส้นโค้งการเจริญเติบโตที่เหมาะสมที่สุดเพื่อทำนายแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีที่จะเกิดขึ้นต่อไป

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการพยากรณ์ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างมากมายจนมีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละแบบจำลองก็มีจุดประสงค์ในการพยากรณ์ที่แตกต่างกัน อาทิเช่น แบบจำลอง Bass ที่ถูกนำไปใช้เพื่อตรวจสอบการแพร่ของผลิตภัณฑ์และการพยากรณ์ความต้องการของผลิตภัณฑ์ แบบจำลองนี้ประกอบไปด้วยค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญอยู่ 2 ค่า นั้นคือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมรับนวัตกรรม (ยอดขายที่ได้รับอิทธิพลจากความต้องการผลิตภัณฑ์ใหม่) และ ค่าสัมประสิทธิ์การลอกเลียนแบบ (ยอดขายที่ได้รับอิทธิพลจากการบอกต่อของผู้ที่ใช้ผลิตภัณฑ์ใหม่แล้ว) ซึ่งแบบจำลอง Bass ให้ความสำคัญกับพฤติกรรมการยอมรับนวัตกรรมของลูกค้ามากกว่าข้อมูลด้าน

การตลาดและกระบวนการเลียนแบบในระบบสังคม แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้ก็ไม่ได้มีการพิจารณาถึงผลกระทบของการแทนที่เทคโนโลยีนั้นด้วยเทคโนโลยีอื่น

ในทางกลับกันแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างเช่น แบบจำลอง Fisher-Pry มีจุดประสงค์เพื่อแสดงถึงการแทนที่ของเทคโนโลยีหนึ่งด้วยอีกเทคโนโลยีหนึ่ง หรือแสดงถึงอัตราการแทรกซึมของเทคโนโลยีอื่นที่จะเข้ามาสู่ตลาด แบบจำลองนี้จะแสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีนั้น ๆ จะถึงขีดจำกัดสูงสุดในเวลาใด ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นว่าเทคโนโลยีจะมีแนวโน้มการเติบโตที่เพิ่มขึ้นช้ามากในช่วงแรก จากนั้นแนวโน้มการเติบโตก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงกลาง ก่อนที่แนวโน้มการเติบโตจะช้าลงอีกครั้งในช่วงท้ายของวงจร จึงเป็นเรื่องที่สำคัญที่จะต้องประเมินและคาดการณ์ถึงขีดจำกัดสูงสุดของการเติบโตของเทคโนโลยีนั้น ๆ โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลในอดีต นั่นคือการเติบโตของเทคโนโลยีที่คล้ายกันในอดีตเป็นองค์ประกอบสำคัญในการคาดการณ์เทคโนโลยีใหม่ให้ได้แนวโน้มที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น [24]

ตารางที่ 2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการสร้างเส้นโค้งการเจริญเติบโต

แบบจำลอง	**สมการ**	**เริ่มใช้**
Logistic or Pearl	$Y = \frac{L}{1 + ae^{-bt}}$	1923, 1957
Gompertz	$Y = Le^{-b-kt}$	1932
Mansfield- Blackman	$\ln\left(\frac{Y_t}{L - Y_t}\right) = \beta_0 + \beta_0 t$	1961, 1972
BASS	$y_t = \frac{\left[1 - e^{-(p+q)t}\right]}{\left[1 + (\frac{q}{p})e^{-(p+q)t}\right]}$	1969
Fisher-Pry	$\frac{Y_t}{1 - Y_t} = e^{2a(t-t_0)}$	1971
Extended Riccati	$\frac{y_t}{Y_{t-1}} = \beta_0 + \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2\left(\frac{1}{Y_{t-1}}\right) + \beta_3 \ln(Y_{t-1})$	1976
Weibull	$\ln\left(\ln\left[\frac{L}{L - Y_t}\right]\right) = \beta_0 + \beta_1 \ln t$	1980
NSRL	$\ln y_t = \beta_0 + \beta_1 \ln(Y_{t-1}) + \beta_2 \ln(L - Y_{t-1})$	1981
Harvey	$\ln y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 \ln(Y_{t-1})$	1984

2.5 แบบจำลองการกระจายตัวของเบส (Bass Diffusion Model)

แบบจำลองการแพร่กระจายของเบสได้รับการพัฒนาโดย Frank Bass นักวิชาการชาวอเมริกัน สาขาการวิจัยการตลาดและวิทยาศาสตร์การตลาดโดยแบบจำลองการแพร่กระจายนี้ถูกนำไปใช้ในการคาดการณ์การแพร่กระจายของสินค้า เทคโนโลยี หรือนวัตกรรมใหม่ในอนาคต [25] โดยอาศัยข้อมูลในอดีตเช่น ข้อมูลของเทคโนโลยีที่คล้ายคลึงกัน หรือยอดขายหรือยอดผู้ใช้บริการเทคโนโลยีนั้น ๆ เป็นเวลาอย่างน้อย 10 ปีต่อเนื่อง เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับเทคโนโลยี (p) และค่าสัมประสิทธิ์ของการลอกเลียนแบบเทคโนโลยี (q) ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีใหม่ [26]

แบบจำลองการแพร่กระจายของเบสได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในระดับสากลโดยมีสมการที่ใช้ในการสร้างรูปแบบการแพร่กระจาย (Diffusion Pattern) ดังนี้ [27]

$$S(t) = [p + (q/m)(N(t-1))][m - N(t-1)] \quad (2.1)$$

โดย $S(t)$ = จำนวนประชากรที่ยอมรับเทคโนโลยี ณ ปีที่ t

$N(t-1)$ = จำนวนสะสมของประชากร (Cumulative Number) ที่ยอมรับเทคโนโลยีใหม่ตั้งแต่เวลาเริ่มแรก

p = ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับเทคโนโลยี (The Coefficient of Innovation)

q = ค่าประสิทธิ์ของการเลียนแบบเทคโนโลยี (The Coefficient of Imitation)

m = ขนาดของตลาดที่คาดว่าเป็นได้ไปในอนาคต

การวิเคราะห์การยอมรับของเทคโนโลยี (Adoption Pattern) หรือรูปแบบของการแพร่กระจายตัวของเทคโนโลยี (Diffusion Pattern) สามารถสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ได้ดังนี้

1) หาค่าสัมประสิทธิ์ p และ q ซึ่งใช้ค่าของเทคโนโลยีที่มีความคล้ายคลึงกันในอดีตมาเทียบเคียง (Analogous Product)

2) หาค่า m จากแหล่งที่มีความน่าเชื่อถือ

3) กำหนดค่า p, q และ m ในสมการที่ 2.1

4) สมการจะสร้างกราฟเส้นที่แสดงให้เห็นถึงรูปแบบการแพร่กระจายของเทคโนโลยี พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อของผลการวิเคราะห์

ค่าสัมประสิทธิ์ p และ q ในแบบจำลองการแพร่กระจายของเบส (Bass diffusion model) มีความหมายซึ่งอธิบายได้ดังนี้

1) ความหมายของค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับเทคโนโลยี (The Coefficient of Innovation, p)

ค่าสัมประสิทธิ์ p คือ ค่าที่แสดงถึงการยอมรับเทคโนโลยีของผู้ซื้อตั้งแต่แรกเริ่มที่เทคโนโลยีออกสู้ตลาด โดยหากค่า p > q แสดงว่า ผลิตภัณฑ์จะมียอดขายเติบโตอย่างรวดเร็วในระยะแรก จากนั้นยอดขายจะลดลงอย่างช้า ๆ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่ได้รับความแพร่หลายของกลุ่มผู้บริโภค

2) ค่าประสิทธิ์ของการเลียนแบบเทคโนโลยี (The Coefficient of Imitation, q)

ค่าสัมประสิทธิ์ q คือ ค่าที่แสดงถึงการเลือกซื้อเทคโนโลยีของกลุ่มผู้บริโภครายใหม่โดยอ้างอิงจากผู้บริโภครายเก่า โดยหากค่า q > p แสดงว่า ผลิตภัณฑ์จะมีการเติบโตของยอดขายที่ต่ำในระยะแรก จากนั้นยอดขายจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะปัจจัยการลอกเลียนแบบพฤติกรรมของผู้บริโภคกลุ่มก่อนหน้า

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลสิทธิบัตร (Patent Analysis)

นอกเหนือจากการทำเครื่องหมายทางการค้า หรือ ลิขสิทธิ์ แล้ว สิทธิบัตร ก็เป็นวิธีการป้องกันทรัพย์สินทางปัญญาวิธีหนึ่ง ซึ่งกลุ่มของนวัตกรรมที่มีการยื่นขอสิทธิบัตรมากที่สุดสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่มนวัตกรรมที่เกี่ยวกับเครื่องจักรกล , กลุ่มนวัตกรรมที่เกี่ยวกับไฟฟ้า , กลุ่มนวัตกรรมที่เกี่ยวกับสารเคมี และกลุ่มนวัตกรรมที่เกี่ยวกับอุณหพลศาสตร์ นอกจากนี้ก็ยังมีการยื่นขอสิทธิบัตรในกลุ่มของชีววิทยา , ซอฟต์แวร์ และกระบวนการทางธุรกิจ เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้เห็นได้ว่าการเจริญเติบโตของเทคโนโลยีส่งผลให้กลุ่มหรือประเภทของการจดสิทธิบัตรมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย ทำให้ในปัจจุบันการจดสิทธิบัตรครอบคลุมเกือบทุกแขนงวิชาไม่ว่าจะเป็นด้านเทคโนโลยีพื้นฐานหรือด้านสินค้าก็ตาม ซึ่งการยื่นขอสิทธิบัตรสามารถดำเนินการร่าว ๆ ได้ดังนี้

1) บุคคลธรรมดา หรือ องค์กรเชิงพาณิชย์ ที่ต้องการยื่นขอสิทธิบัตร ต้องทำการแจ้งกับเจ้าหน้าที่และยื่นขอสิทธิบัตรกับสำนักงานสิทธิบัตร

2) การยื่นขอรับสิทธิบัตรจะต้องอ้างสิทธิ์บางประการซึ่งสะท้อนถึงประโยชน์ (ขอบเขต) ของการประดิษฐ์ จากนั้นผู้ตรวจสอบสิทธิบัตรจะพิจารณาถึงความใหม่ (ไม่เคยมีการจดสิทธิบัตรในสิ่งประดิษฐ์ที่มีลักษณะเหมือนกันมาก่อน) ของสิ่งประดิษฐ์

3) หากได้รับการอนุมัติแล้วก็จะมีการออกสิทธิบัตรให้กับเจ้าของสิ่งประดิษฐ์ เพื่อแลกกับการเปิดเผยความคิดและวิธีการใช้งานสิ่งประดิษฐ์นั้น เพื่อให้ผู้อื่นสามารถสร้างองค์ความรู้และสร้างสรรค์

สิ่งประดิษฐ์อื่น ๆ ได้ โดยผู้ที่ได้รับสิทธิบัตรจะได้รับสิทธิคุ้มครองทางกฎหมายยาวนานถึง 17 ปีจากการออกสิทธิบัตร หรือ 20 ปีจากการยื่นขอสิทธิบัตร [28]

2.6.1 ระเบียบวิธีวิเคราะห์เนื้อหาสิทธิบัตร

เนื่องจากการได้รับสิทธิบัตรจะให้สิทธิพิเศษและการคุ้มครองทางกฎหมายแก่นักประดิษฐ์ผู้ประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์นั้นขึ้นมา ทำให้สิทธิบัตรมีบทบาทหน้าที่สำคัญที่ช่วยให้เกิดการพัฒนาและทำให้เกิดการเผยแพร่ความรู้ทางเทคโนโลยีอย่างเท่าเทียม ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลสิทธิบัตรจึงถูกนำมาใช้เพื่อให้นักประดิษฐ์คนอื่น ๆ ได้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับสิ่งประดิษฐ์ที่พวกเขาสนใจ ไม่ว่าจะเป็นประเด็นทางเศรษฐกิจ นวัตกรรม และสังคมก็ตาม ตัวอย่างเช่น [29]

Stern, Porter และ Furman ได้ใช้ข้อมูลสิทธิบัตรจากปี พ.ศ. 2516 - 2538 เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองและอธิบายการเติบโตของนวัตกรรมใน 17 ประเทศ [30]

Crosby ใช้ข้อมูลสิทธิบัตรของออสเตรเลียเพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงงานและการเติบโตทางเศรษฐกิจ และเพื่อทำนายผลกระทบของเงินอุดหนุนและเทคโนโลยีจากต่างประเทศ [31]

Jung และ Imm เพื่อเปรียบเทียบขั้นตอนการยื่นขอสิทธิบัตรที่แตกต่างกันในประเทศไต้หวันประเทศเกาหลีใต้และประเทศสหรัฐอเมริกา [32]

2.7 การวิเคราะห์บรรณมิติ (Bibliometric Analysis)

Bibliometrics เป็นวิธีการศึกษาวิจัยอย่างหนึ่งที่มีบทบาทมานานแล้วในนานาประเทศที่ให้ความสำคัญในเรื่องข้อมูลเพื่อการตัดสินใจหรือกำหนดทิศทางนโยบายต่าง ๆ ด้วยความถูกต้องและอยู่บนข้อเท็จจริง โดยการนำวิธีการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์และสถิติมาใช้กับสื่อต่างๆทางวิทยาศาสตร์ รวมถึงสื่ออิเล็กทรอนิกส์และครอบคลุมถึงการใช้วิธีวิเคราะห์เชิงสถิติกับสิ่งพิมพ์ต่างๆและระบบงานห้องสมุด เพื่ออธิบายรูปแบบหรือแนวโน้มของสิ่งพิมพ์หรือวรรณกรรมในสาขาต่าง ๆ และเพื่อการประเมินเกี่ยวกับผู้เขียน งานเขียน หรือความสัมพันธ์ระหว่างผู้เขียนหรืองานเขียนในสาขาวิชานั่น ๆ

การศึกษาวิจัยด้วยวิธี bibliometrics ส่วนใหญ่ พบวาเกี่ยวของกับการประยุกตใชกฎของ bibliometrics 3 ขอได้แก่

1) Lotka's law เป็นกฎที่มาจากการศึกษาของ Alfred Lotka ในปี 1926 เกี่ยวกับการผลิตงานเขียนทางวิทยาศาสตร์ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้ [33]

$$P(n) = k/n^2$$

โดย p คือ จำนวนผู้เขียนบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ n ครั้ง

k คือ ค่าคงที่ที่กำหนดไว้สำหรับงานเขียนแต่ละสาขาวิชา

ตามกฎนี้หากจำนวนบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ยิ่งมีมากจำนวนผู้เขียนบทความก็จะยิ่งมีน้อยลงเช่นเมื่อให้ K = 100 จำนวนบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ 10 ครั้งจะมีจำนวนผู้เขียนเพียง 1 คน ขณะที่เมื่อจำนวนบทความของผู้เขียนที่ได้รับการตีพิมพ์ 1 ครั้งจะมีจำนวนผู้เขียนถึง 10 คนกรณีนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการคาดคะเนความถี่ของผู้เขียนเอกสารในฐานข้อมูลต่างๆได้

2) Zipf's Law เป็นกฎที่มาจากการศึกษาของ G.K. Zipf ในปี 1935 เกี่ยวกับการจัดลำดับความถี่ของคำที่พบในเอกสาร เขากล่าวว่า เมื่อนำคำในภาษาอังกฤษมาจัดลำดับตามความถี่ที่พบในเอกสารจะพบว่ามีจำนวนคำเพียงจำนวนน้อยที่พบบ่อยส่วนจำนวนคำอีกมากมายนั้นพบเพียงน้อยครั้ง ดังสมการ [34]

$$f(n) = k/n$$

โดย f คือ ความถี่ของคำที่เกิดขึ้นตามลำดับที่ n

k คือ ค่าคงที่ที่เหมาะสม

ตามกฎนี้หาก K = 22500 คำ 10 ลำดับแรกที่พบบ่อยที่สุดจะพบถึง 2650 ครั้งส่วนคำ 100 ลำดับแรกที่พบบ่อยที่สุดจะพบถึง 265 ครั้งกดนี่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในการจัดทำดัชนีคำสำคัญ

3) Bradford's Law เป็นกฎที่มาจากการศึกษาของ Samuel C. Bradford ในปี 1948 เกี่ยวกับความถี่ของการกระจายของบทความวิชาการในวารสาร ด้านวิทยาศาสตร์รายชื่อต่างๆ เขากล่าวว่า จำนวนวรสารในสาขาวิทยาศาสตร์สามารถแบ่งได้ 3 ส่วนเมื่อกำหนดให้แต่ละส่วนมีจำนวนบทความเป็น 1/3 ของจำนวนบทความทั้งหมดในวรสารสาขาวิชานี้ [35]

2.8 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ช่วยในการตัดสินใจ

2.8.1 ความหมายของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

การศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการตัดสินใจ ถูกใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งทางด้านฟิสิกส์ ชีววิทยา สังคมศาสตร์ จิตวิทยา เคมี เศรษฐศาสตร์ ฯลฯ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าของข้อมูลต่าง ๆ ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ ในปัจจุบันหลายองค์กรได้รับประโยชน์จากการใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์เหล่านี้

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือการนำเอาหลักการทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการจำลองสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ทั้งนี้การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อาจทำได้โดยไม่ต้องใช้ระบบคอมพิวเตอร์ แต่ด้วยความก้าวหน้าของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ทำให้การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงเป็นสิ่งที่มีประโยชน์และแพร่หลายเป็นอย่างมาก [36]

นอกจากนี้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ยังหมายถึง การนำความรู้ทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริงเพื่อเข้าใจถึงปัญหา และแก้ปัญหาหรือหาคำตอบของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยการสร้างหรือออกแบบตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์หรือสถานกาณ์จำลองเพื่อประกอบการตัดสินใจ คำตอบอาจแสดงออกมาในรูปแบบของ ฟังก์ชัน สมการ นิพจน์ กราฟ ตาราง สถานการณ์จำลองหรือข้อความที่ใช้อธิบายสถานกาณ์ปัญหานั้น ๆ [37], [38], [39], [40]

การสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Modelling) เป็นกิจกรรมที่แปลงปัญหาที่เกิดขึ้นจริงให้อยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ วิจัย และการดำเนินงานในภายหลัง ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์จะถูกสร้างขึ้นมาหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการ และคำอธิบายที่เกี่ยวข้องกับตัวแบบนี้จะแสดงให้เห็นถึงข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อปัญหาที่ต้องการแก้ไข ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์มีความยากง่ายแตกต่างกันออกไปตามปัญหาที่ต้องการหาคำตอบ ดังนั้นการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์จึงสามารถแก้ปัญหาได้ตั้งแต่การวางสินค้าในตลาด ไปจนถึงการการจัดสรรงบประมาณของรัฐบาล

นักคณิตศาสตร์ที่มีความชำนาญทางด้านการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์จึงทำงานในวงการอุตสาหกรรมและการค้าในหลากหลายสาขา แต่ไม่ว่าจะเป็นปัญหาใดก็ตาม การแปลความหมายจากปัญหาให้เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ก็ล้วนแล้วแต่มีความสำคัญทั้งสิ้น หลายคนคิดว่าการแก้สมการเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการสร้างตัวแบบ แต่ในความเป็นจริง การแปลความหมายจากปัญหาให้

เป็นสมการทางคณิตศาสตร์เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมากที่สุดในการสร้างตัวแบบ ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบมักจะอยู่ในรูปของการใช้ปฏิบัติจริงเพื่อแก้ไขปัญหา

2.8.2 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

วัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์คือเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ตามสถานการณ์ ซึ่งปัญหาส่วนใหญ่เหล่านี้มักไม่อยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ รวมถึงคำตอบของปัญหาดังกล่าวก็อาจไม่อยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามวิธีการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ยังคงมีบทบาทและเป็นส่วนสำคัญในการหาคำตอบของปัญหาเหล่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีความเข้าใจ ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหา รวมทั้งจำแนกองค์ประกอบของปัญหาเพื่อที่จะทำการกำหนดตัวแปรต่าง ๆ และนำตัวแปลเปล่านั้นมาเขียนความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ และทำการศึกษาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เหล่านั้นเพื่อใช้แทนปัญหาหรือสถานการณ์จริง เมื่อได้วิธีการหาคำตอบแล้วจึงนำตัวแบบที่สร้างขึ้นนี้ไปทดสอบเพื่อปรับปรุงแก้ไขและนำผลลัพธ์ที่ได้กลับไปใช้ในการแก้ปัญหาตามสถานการณ์จริงนั้นต่อไป

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ตัวแบบที่ดี สมบูรณ์ และน่าเชื่อถือ ควรผ่านกระบวนการ 5 กระบวนการดังต่อไปนี้ [36]

1) ทำความเข้าใจและกำหนดปัญหา (Clarify the problem) โดยทั่วไปแล้วธรรมชาติของปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันมักจะไม่อยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นก่อนที่จะดำเนินการสร้างตัวแบบจำเป็นต้องศึกษาและเข้าใจปัญหานั้นอย่างแท้จริง ซึ่งขั้นตอนนี้มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะหากไม่สามารถระบุปัญหาได้อย่างถูกต้อง หรือระบุปัญหาผิดวัตถุประสงค์ก็ทำให้คำตอบที่ได้ไม่ถูกต้องและไม่สามารถแก้ปัญหาได้ตามต้องการได้

2) การแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แต่ละปัญหาจะมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันออกไป หากปัญหาที่ต้องการแก้ไขเป็นปัญหาที่ใหญ่และมีความซับซ้อน จำนวนขององค์ประกอบก็จะมีมากตามไปด้วย โดยการจำแนกองค์ประกอบจำเป็นต้องจำแนกให้ชัดเจนและถูกต้อง ไม่ว่าจะเป็นตัวแปรอิสระ ตัวแปรตาม หรือตัวแปลอื่น ๆ และต้องระบุให้ชัดเจนถึงความสัมพันธ์ของตัวแปลเหล่านั้น ซึ่งถ้าหากมีการระบุองค์ประกอบของปัญหาผิดไปก็จะทำให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นให้ผลลัพธ์ที่ผิดพลาดตามไปด้วย

3) การวิเคราะห์แบบจำลอง คือขั้นตอนในการนำแบบจำลองที่สร้างมาทำการหาคำตอบ โดยในขั้นตอนนี้อาจต้องมีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปลต่าง ๆ เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมกับปัญหามากที่สุด

4) การทดสอบผลลัพธ์ บางครั้ง ผลลัทธ์ที่ได้จากแบบจำลองก็ไม่ใช่ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดหรือถูกต้องเสมอไป ดังนั้นหลังจากที่ได้คำตอบแล้ว ผู้สร้างแบบจำลองต้องทำการทดสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยการใช้ค่าที่ทราบอยู่แล้วเพื่อเป็นการยืนยันว่าแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นใช้ได้จริง และหากแบบจำลองมีการผิดพลาดผู้สร้างแบบจำลองก็ต้องทำการพิจารณาในกระบวนการก่อนหน้าเพื่อแก้ไขแบบจำลองให้ถูกต้องแล้วจึงนำไปใช้ต่อไป

5) นำผลที่ได้จากแบบจำลองไปช่วยในการตัดสินใจ ผลลัพธ์จากแบบจำลองเป็นเพียงแค่ส่วนหนึ่งที่ช่วยในการตัดสินใจเท่านั้น สุดท้าย การตัดสินใจเลือกใช้ผลลัพธ์จากแบบจำลองหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับผู้ที่เกี่ยวข้องในเรื่องนั้น ๆ

2.9 การวิจัยดำเนินงาน (Operations Research: OR)

การวิจัยดำเนินงาน (Operations Research: OR) เป็นศาสตร์ในการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจด้านต่างๆ การวิจัยดำเนินงานจัดเป็นส่วนหนึ่งของสาขาวิชาวิทยาการบริหารจัดการ(Management Science) หรือสาขาวิชาวิทยาการตัดสินใจ (Decision Science) ซึ่งครอบคลุมการนำความรู้และทักษะหลักๆ 3 ด้าน อันได้แก่ การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) การจำลองสถานการณ์ (Simulation) และความน่าจะเป็นและสถิติ (Probability and Statistics) มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา การวิจัยดำเนินงานได้ถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกในการวางแผนยุทธศาสตร์การทหารในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 จากนั้นได้ถูกพัฒนาและนำมาประยุกต์ใช้ในธุรกิจและการดำเนินงานในสาขาต่าง ๆ มากมายอย่างต่อเนื่อง ทั้งในอุตสาหกรรมการผลิต อุตสาหกรรมการให้บริการ การเกษตร การประมง การป่าไม้ การศึกษา การบริหารองค์กรทั้งองค์กรธุรกิจและองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร การวิจัยดำเนินงานสามารถช่วยลดต้นทุนการดำเนินงาน เพิ่มกำไรให้แก่ธุรกิจเพิ่มผลิตภาพและประสิทธิภาพในการดำเนินงานรวมทั้งสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหาร การวิจัยดำเนินงานครอบคลุมเทคนิคและวิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้แก่ การแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Optimization) เทคนิคการจำลองสถานการณ์ (Simulation Modelling Technique) ทฤษฎีแถวคอย (Queuing Theory) ทฤษฎีเกม

(Game Theory) ทฤษฎีการตัดสินใจ (Decisions Making Theory) กระบวนการการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ (Markov Decisions Processes) และอื่นๆ [41]

2.10 ปัญหาการหาค่าที่เหมาะที่สุด (Optimization Problems)

ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Problems) เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยดำเนินงาน ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมักแสดงในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนอันได้แก่ [41]

1) ตัวแปรการตัดสินใจ (Decision Variables) หรือสิ่งที่ผู้วิเคราะห์ไม่ทราบค่าที่เหมาะสมและต้องการหาคำตอบ
2) ข้อจำกัดหรือเงื่อนไขของตัวแปร (Constraints) ซึ่งจำกัดขอบเขตที่เป็นไปได้ของตัวแปร
3) ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ หรือ สมการเป้าหมาย (Objective Function) ซึ่งแสดงถึงวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของการหาคำตอบโดยผลลัพธ์ของสมการเป้าหมายจะขึ้นอยู่กับค่าของตัวแปรการตัดสินใจในแบบจำลอง

การค้นหาคำตอบของปัญหาจะเป็นการค้นหาค่าของตัวแปรการตัดสินใจที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ระบุในสมการเป้าหมายและอยู่ภายใต้ขอบเขตของข้อจำกัดหรือเงื่อนไขของตัวแปร

ในบางกรณีปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดอาจไม่มีข้อจำกัดของตัวแปรก็ได้ซึ่งเราจะเรียกปัญหาประเภทนี้ว่าปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดไม่มีข้อจำกัดของตัวแปร (Unconstrained Optimization Problems)

NEOS Wiki ซึ่งเป็นโครงการความร่วมมือระหว่างนักวิจัยทั่วโลกเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้เกี่ยวกับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดบนอินเตอร์เน็ต โดยมี The University of Wisconsin, Madison ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ดูแล ได้นำเสนอ Optimization Tree ในการตัดกลุ่มปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดไว้ดังนี้ [41]

1) ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบต่อเนื่อง (Continuous Optimization Problems) คือ ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ค่าของตัวแปรมีค่าเป็นจำนวนจริงหรือมีค่าต่อเนื่อง ปัญหาในกลุ่มนี้ได้แก่ การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming, LP) ปัญหาการวิเคราะห์การไหลในโครงข่าย (Network Flow Problems) การโปรแกรมไม่เชิงเส้น (Nonlinear Programming, NLP) เป็นต้น [41]

2) ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Optimization Problems) คือ ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ค่าของตัวแปรบางตัวหรือทั้งหมดมีค่าไม่ต่อเนื่องหรือเป็นจำนวนเต็ม ปัญหาในกลุ่มนี้ได้แก่ ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดเชิงการจัด (Combinatorial Optimization Problems) การโปรแกรมจำนวนเต็ม (Integer Programming, IP) การโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming, MIP) ทั้งในรูปแบบเชิงเส้น (Mixed Integer Linear Programming, MILP) และไม่เชิงเส้น (Mixed Integer Nonlinear Programming, MINLP) [41]
3) ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ความไม่แน่นอน (Optimization Problems under Uncertainty) คือ ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ค่าของตัวแปรบางตัวหรือทั้งหมดมีค่าไม่แน่นอน ได้แก่ ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบเฟ้นสุ่ม (Stochastic Optimization Problems) ซึ่งอาศัยตัวแปรสุ่มในการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหา ตัวอย่างปัญหาที่เป็นที่รู้จักกันดีได้แก่ ปัญหาคนขายหนังสือพิมพ์ (Newsvendor Problems) [41]
4) ปัญหาการเติมเต็ม (Complementarity Problems) คือ ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ฟังก์ชันของเวกเตอร์ของตัวแปรสอดคล้องกับเงื่อนไขบางประการ (เงื่อนไขการเติมเต็ม) การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming, LP) และการโปรแกรมเชิงยกกำลังสอง (Quadratic Programming, QP) ก็จัดเป็นปัญหาการเติมเต็มแบบหนึ่งด้วย ปัญหาการเติมเต็มแบ่งได้เป็น ปัญหาการเติมเต็มเชิงเส้น (Linear Complementarity Problems, LCP) ปัญหาการเติมเต็มเชิงเส้นแบบผสม (Mixed Linear Complementarity Problems, MLCP) ปัญหาการเติมเต็มแบบผสม (Mixed Complementarity Problems, MCP) และปัญหาการเติมเต็มแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Complementarity Problems, NCP) ปัญหา LPC ถูกนำมาใช้มากในสาขากลศาสตร์เชิงคำนวณ (Computational Mechanics) [41]
5) ชุดสมการ (Systems of Equations) หมายถึง ชุดสมการตั้งแต่ 2 สมการขึ้นไปซึ่งประกอบด้วยชุดของตัวแปรที่ไม่ทราบค่าชุดเดียวกัน รูปแบบของชุดสมการที่ง่ายที่สุดประกอบด้วยสมการ 2 สมการและตัวแปรที่ไม่ทราบค่า 2 ตัว ซึ่งเราสามารถแก้สมการเพื่อหาค่าของตัวแปรได้ [41]

6) ชุดอสมการ (Systems of inequations) หมายถึง ชุดของอสมการตั้งแต่สองอสมการขึ้นไป ซึ่งประกอบด้วยชุดของตัวแปรที่ไม่ทราบค่าชุดเดียวกันการแก้ปัญหาชุดอสมการคือการหาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Solution Region) นั่นเอง [41]
7) ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective Optimization) เป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีสมการเป้าหมาย (Objective Functions) มากกว่า 1 สมการ ตัวอย่างปัญหาที่เป็นที่รู้จักกันดีได้แก่การโปรแกรมเชิงเป้าหมาย (Goal Programming) [41]

2.11.1 โปรแกรมเชิงเส้น

การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming, LP) เป็นเทคนิคในการสร้างและหาคำตอบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันเชิงเส้น กล่าวคือ มีสมการเป้าหมายและข้อจำกัดของตัวแปรอยู่ในรูปของสมการหรืออสมการเชิงเส้น และมีตัวแปรการตัดสินใจเป็นจำนวนจริง (Real Numbers) เป็นตัวแปรที่มีค่าต่อเนื่อง (Continuous Variables) ปัญหา LP ได้ถูกพัฒนาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1939 โดย Leonid Kantorovich ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 และเริ่มเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในปี ค.ศ. 1947 เมื่อ George Dantzig ได้นำเสนอ Simplex Algorithm และ John von Neumann ได้เสนอทฤษฎี Duality สำหรับการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดของปัญหา LP ตลอดระยะหลายทศวรรษที่ผ่านมา ทฤษฎี LP ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง และมีการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาการตัดสินใจด้านต่างๆ ในหลายสาขาวิชาและในหลายอุตสาหกรรมดังจะเห็นได้จากบทความเชิงวิชาการและงานวิจัย รวมทั้งกรณีศึกษาต่างๆ มากมายที่ได้มีการเผยแพร่ไว้ [41]

2.11.2 การสร้างตัวแบบของโปรแกรมเชิงเส้น

การสร้างตัวแบบของโปรแกรมเชิงเส้นต้องกำหนดปัญหาที่ต้องการแก้ไขและตัวแปลต่าง ๆ ให้ชัดเจน โดยมีขั้นตอนการสร้างตัวแบบของโปรแกรมเชิงเส้นดังต่อไปนี้ [42]

1) สร้างสมการวัตถุประสงค์ (Objective Function) คือสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปลต้นและตัวแปลตามเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด อาจเป็นได้ทั้งค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดก็ได้ โดยมีรูปแบบสมการพื้นฐานดังนี้ [42]

$$Y = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \cdots + C_nX_n$$

โดยที่ C_j = สัมประสิทธิ์ของตัวแปร

X_j = ตัวแปรในสมการวัตถุประสงค์

j = 1, 2, 3, ..., n

2) กำหนดสมการเงื่อนไข (Constraints) คือสมการข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการควบคุมผลลัพธ์ที่จะได้จากการแก้สมการวัตถุประสงค์ โดยมีรูปแบบสมการพื้นฐานดังนี้ [42]

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \cdots + a_{1n}X_n = b_1$$
$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \cdots + a_{2n}X_n = b_2$$
$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$
$$a_{m_1}X_1 + a_{m_2}X_1 + \cdots + a_{mn}X_n = b_m$$

โดยที่ X_j = ตัวแปรในสมการ

a_{ij} = สัมประสิทธิ์ของตัวแปรในฟังก์ชันข้อจากัด (Constraints)

b_m = ข้อจำกัดของทรัพยากร

i = 1, 2, 3, ..., m

j = 1, 2, 3, ..., n

3) กำหนดให้ตัวแปรไม่ติดลบ (Non-negative) คือการกำหนดให้ค่าตัวแปลทุกตัวในสมการมีค่าไม่น้อยกว่าศูนย์ เช่น [42]

$$X_i \geq 0 \; ; \; i = 1, 2, 3, \ldots, n$$

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างปัญหาพื้นฐานของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

ปัญหา	คำอธิบาย
Diet	ปัญหาทางโภชนาการ ในการเลือกจัดอาหารที่รับประทานเพื่อให้ผู้บริโภคได้รับสารอาหารตรงตามข้อกำหนดทางโภชนาการ โดยมีต้นทุน/ค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด
Blending	ปัญหาการผสมสูตรเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันหรือเกรดต่างกันจากวัตถุดิบกลุ่มเดียวกัน เช่น การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง การผลิตสารเคมี การผลิตสูตรอาหาร
Production Process	ปัญหากระบวนการผลิตที่สามารถนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการผลิตแล้วมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไปได้ เช่น กระบวนการผลิตยา กระบวนการผลิตน้ำหอม
Aggregate Production Planning	ปัญหาการวางแผนการผลิตโดยรวม เป็นการวางแผนกำลังการผลิตให้เพียงพอต่อการผลิตสินค้าเพื่อตอบสนองความต้องการสินค้าของลูกค้า ที่ครอบคลุมระยะเวลาวางแผนหนึ่ง ๆ ซึ่งปริมาณการผลิตในแต่ละช่วงเวลาจะถูกกำหนดด้วยกำลังการผลิตที่มีและสัมพันธ์กับปริมาณสินค้าคงคลังที่จัดเก็บไว้ในแต่ละช่วงเวลา
Machine Scheduling	การจัดตารางการผลิตแบบเครื่องจักร เป็นการจัดสรรทรัพยากร (เครื่องจักร) โดยกำหนดลำดับการผลิตต่าง ๆ ที่ใช้เครื่องจักรชุดเดียวกันในการผลิตเพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากเครื่องจักรได้สูงสุด
Work Scheduling	การจัดตารางการทำงานของพนักงาน เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการกำลังคนในแต่ละช่วงเวลาและข้อกำหนดอื่นๆโดยมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดหรือใช้พลังงานน้อยที่สุด

ปัญหา	คำอธิบาย
Investment / Capital Budgeting	การจัดสรรงบประมาณการลงทุนในโครงการต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผลตอบแทนที่สูงที่สุด
Data Envelopment Analysis (DEA)	การวิเคราะห์การล้อมกรอบข้อมูล เป็นวิธีการประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงานของหน่วยงานหรือองค์ประกอบที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ใช้ข้อมูลนำเข้า (Input) ที่เหมือนกัน เพื่อสร้างผลลัพธ์ (Output) ที่เหมือนกัน โดยเปรียบเทียบจากมูลค่าของผลลัพธ์ที่ได้ต่อต้นทุนของมูลค่านำเข้าที่ใช้ในระบบ
Facility Location	ปัญหาการกำหนดทำเลที่ตั้งของสถานประกอบการ เช่น โรงงาน โกดังสินค้า ศูนย์กระจายสินค้า เพื่อให้ต้นทุนการขนส่งของทั้งเครือข่ายมีค่าต่ำที่สุด
Fixed Charge	ปัญหาที่มีต้นทุนคงที่เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การเปิดปิดโรงงานซึ่งการตัดสินใจเปิดโรงงานจะส่งผลให้เกิดต้นทุนคงที่ของการเปิดโรงงานขึ้น ดังนั้นหากตัดสินใจตั้งโรงงานหลายแห่งก็จะมีต้นทุนคงที่ที่สูงขึ้น
Assignment	ปัญหาการมอบหมายงานให้แก่บุคคลหรือเครื่องจักร ซึ่งอาจใช้เวลาในการทำงานแต่ละงานไม่เท่ากันโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด
Transportation	ปัญหาการขนส่งสินค้าจากโรงงาน / แหล่งผลิต (Supply Point) ไปยังลูกค้าจุดหมายปลายทาง (Demand Point) เช่น ศูนย์กระจายสินค้า โดยมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด
Transshipment	ปัญหาการขนส่งสินค้าจากโรงงานแหล่งผลิตไปยังลูกค้า / จุดหมายปลายทาง โดยผ่านจุดเปลี่ยนถ่ายสินค้า (Transshipment Point) เช่น ศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Center) สถานีขนส่งสินค้า (Truck Terminal) โดยมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด
Shortest Path	ปัญหาการคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุด จัดเป็นปัญหาแบบจำลองเครือข่าย (Network Models) แบบหนึ่ง สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาอื่น ๆ เช่น ปัญหาการเปลี่ยนทดแทน (Replacement) ได้
Maximum Flow	ปัญหาการคำนวณหาปริมาณการไหลสูงสุด จัดเป็นปัญหาแบบจำลองเครือข่าย (Network Models) แบบหนึ่ง โดยมีข้อจำกัดของปริมาณ

ปัญหา	คำอธิบาย
	การไหลสูงสุดในแต่ละเส้นทางและมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ปริมาณการไหลของทั้งเครือข่ายมีค่าสูงสุด
CPM & PERT	ปัญหาการวิเคราะห์ข่ายงาน จัดเป็นปัญหาแบบจำลองเครือข่าย (Network Models) แบบหนึ่ง CPM (Critical Path Method) ใช้ในการคำนวณหาระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินโครงการหนึ่ง ๆ รวมทั้งวิเคราะห์เวลาที่แต่ละกิจกรรมเสร็จล่าช้าได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินโครงการโดยรวม โดยผู้วิเคราะห์จะต้องทราบเวลาในการดำเนินกิจกรรมที่แน่นอน PERT (Program Evaluation Review Technique) เป็นเทคนิคที่ใช้ในกรณีที่ไม่ทราบเวลาในการดำเนินการกิจกรรมที่แน่นอนโดยประเมินความน่าจะเป็นที่โครงการจะสามารถเสร็จสิ้นได้ทันตามกำหนดการ
Minimum Cost Network Flow	ปัญหาการคำนวณหาปริมาณการไหลในเครือข่ายที่ทำให้ต้นทุนการขนส่งรวมของทั้งเครือข่ายมีค่าต่ำสุด โดยสอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด ปัญหาการขนส่ง ปัญหาการมอบหมายงาน ปัญหาการเปลี่ยนถ่ายสินค้า ปัญหาการคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุด ปัญหาการคำนวณหาปริมาณการไหลสูงสุด และ CPM ต่างก็จัดเป็นกรณีพิเศษของปัญหานี้
Minimum Spanning Tree	ค้นหาการคำนวณหาระยะทางที่สั้นที่สุดที่ครอบคลุมเครือข่ายทั้งหมด เช่น ปัญหาการเดินสายไฟสายโทรศัพท์สายเคเบิลจัดเป็นปัญหาแบบจำลองเครือข่าย (Network Models) แบบหนึ่ง
Knapsack	ปัญหาการบรรจุสิ่งของลงกระเป๋าเป้เป็นปัญหาทางเลือกบรรจุสิ่งของโดยคำนึงถึงประโยชน์ของสิ่งของและความจุของกระเป๋าเป้
Bin Packing	ปัญหาการบรรจุสิ่งของลงถังโดยใช้จำนวนถังที่น้อยที่สุดโดยมีข้อกำหนดด้านความจุของถัง (น้ำหนัก ปริมาตร หรืออื่น ๆ) ปัญหาการบรรจุสิ่งของพื้นฐานจากกำหนดข้อกำหนดด้านความจุไว้เพียงมิติเดียว สำหรับปัญหาการบรรจุสิ่งของที่คำนึงถึงทั้ง ความกว้าง ความยาวและความสูงของถังหรือบรรจุภัณฑ์จะเรียกว่า 3 – Dimension Bin Packing Problem
Cutting Stock	ปัญหาการตัดวัสดุ (เช่น กระดาษ ไม้แผ่นเหล็ก) ตามรูปแบบ

ปัญหา	คำอธิบาย
	(Patterns) ที่กำหนดโดยให้มีเศษเหลือน้อยที่สุด
Traveling Salesman	ปัญหาการเดินทางของคนขายของ (TSP) ซึ่งจะต้องเดินทางไปพบลูกค้าทุกราย โดยให้มีระยะทาง หรือเวลา หรือค่าใช้จ่ายในการเดินทางที่น้อยที่สุด
Vehicle Routing	ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ (VRP) โดยสามารถจัดส่งสินค้าให้แก่ลูกค้าทุกรายและมีระยะทางหรือเวลาหรือค่าใช้จ่ายในการเดินทางที่สั้นที่สุดปัญหา VRP แตกต่างจากปัญหา TSP ที่ปัญหา VRP จะมีข้อข้อจำกัดในเรื่องความจุของรถบรรทุกเพิ่มขึ้นมา

2.11 การแก้ปัญหาการปกคลุมเซต (Set Covering Problem)

ปัญหาการปกคลุมเซต (SCP) เป็นการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยให้ครอบคลุมความต้องการของลูกค้าทุกคนด้วยต้นทุนน้อยที่สุด หรือปัญหาการเลือกการเลือกตำแหน่งของสถานที่ให้บริการให้ครอบคลุมความต้องการของลูกค้าให้ได้ทั้งหมดโดยจำนวนผู้ให้บริการมีน้อยที่สุด ปัญหาการปกคลุมเซตเป็นหนึ่งวิธีการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่เก่าแก่และได้รับความนิยมในการใช้แก้ปัญหาในงานวิจัยมากที่สุด [42] ปัญหาการครอบคลุมเซต นิยมใช้ในงานวิจัยของภาคอุตสาหกรรม เช่น การตั้งศูนย์กระจายสินค้าให้มีจำนวนน้อยที่สุดแต่ให้คลอบคุมอาณาบริเวณในการขนส่งไปยังร้านค้าย่อย หรือ วางตำแหน่งโรงพักหรือสถานีดับเพลิงให้มีจำนวนน้อยที่สุด โดยที่สามารถเดินทางไปยังจุดเกิดเหตุได้ภายในเวลาที่กำหนด เป็นต้น โดยปัญหาการครอบคลุมเซตมีรูปแบบทางคณิตศาสตร์พื้นฐานดังนี้ [43]

Minimize $\sum_{j=1}^{n} c_j x_j$ (1)

Subject to $\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \geq 1, i = 1, \ldots, m$ (2)

$x_i \in \{0,1\} \quad , j = 1, \ldots, n$ (3)

$$x_i = \begin{cases} 1 & ; \text{column } j \text{ is in the solution} \\ 0 & ; \text{otherwise} \end{cases}$$

โดยที่ X_i เป็น 1 หากถูกเลือก และเป็น 0 หากเป็นกรณีอื่น

สมการข้อจำกัด (2) บังคับว่า แต่ละแถวต้องมีคอลัมน์อย่างน้อย 1 คอลัมน์ ที่ให้ค่าเป็น 1

สมการข้อจำกัด (3) บังคับว่า X_i จะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Daim, Rueda, Martin, and Pisek (2006) ได้ใช้วิธีการพยากรณ์แนวโน้มของเทคโนโลยีในอนาคตหลากหลายวิธีได้แก่ Patent analysis , Bibliometric analysis , System dynamics , Growth curves และ Scenarios เพื่อเปรียบเทียบวิธีที่ดีที่สุดในการใช้พยากรณ์แนวโน้มของเทคโนโลยี 3 เทคโนโลยีได้แก่ เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมยานยนต์ของสหรัฐอเมริกา , เทคโนโลยีความปลอดภัยของอาหาร และ เทคโนโลยีหน่วยความจำรอง จากการวิจัยผู้วิจัยพบว่าการพยากรณ์แนวโน้มของเทคโนโลยีสามารถใช้ได้หลายวิธี โดยการใช้การวิเคราะห์สิทธิบัตรและบรรณานุกรมเหมาะสำหรับใช้ในการพยากรณ์แนวโน้มของเทคโนโลยีที่เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ยังมีข้อมูลไม่เพียงพอ และสำหรับการพยากรณ์จำเป็นต้องมีกรณีศึกษาในหลายกรณีเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสิทธิบัตรและบรรณานุกรมว่าเป็นตัวแทนของข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์แนวโน้มของเทคโนโลยีได้จริง นอกจากนี้กระบวนการ Delphi ที่ทำร่วมกับผู้เชี่ยวชาญจะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของการพยากรณ์แนวโน้มของเทคโนโลยีได้อีกด้วย [18]

Dubaric, Giaznnocarro, Bengtsson และ Ackermann (2011) ใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลสิทธิบัตรในการพยากรณ์แนวโน้มของเทคโนโลยีเพื่อคาดการณ์แนวโน้มของเทคโนโลยีพลังงานลม ผู้วิจัยพบว่า เทคโนโลยีพลังงานลมเกิดขึ้นระหว่างปี 1974 ถึง 1990 และเทคโนโลยีนี้เติบโตอย่างรวดเร็วในปี 1970 เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนสิทธิบัตรเป็นอย่างมาก เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวเกิดวิกฤตการณ์น้ำมันขึ้นจึงทำให้หลายหน่วยงานให้ความสนใจในเทคโนโลยีพลังงานลม นั้นเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดความพยายามในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานลมขึ้นเป็นอย่างมาก แต่หลังจากนั้นการยื่นขอสิทธิบัตรก็เริ่มลดลงในช่วงต้นปี 1980 เนื่องจากเทคโนโลยีเข้าสู่ช่วงอิ่มตัว และในช่วงปี 1990 จำนวนสิทธิบัตรก็เริ่มเพิ่มขึ้นอีกครั้งและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก [19]

Jung และ Imm (2002) ได้เปรียบเทียบการยื่นขอสิทธิบัตรที่แตกต่างกันในประเทศไต้หวัน ประเทศเกาหลีใต้และประเทศสหรัฐอเมริกา โดยคณะผู้วิจัยทำการตรวจสอบอัตราการอนุญาตสิทธิบัตรในประเทศเกาหลีและประเทศไต้หวันโดยใช้สถิติสิทธิบัตรระดับประเทศของประเทศเกาหลี ประเทศไต้หวันและประเทศสหรัฐอเมริกาในช่วงปี 1988–1998 พบว่า วิกฤตการณ์ทางการเงินของประเทศเกาหลีในช่วงปี 1998–1999 มีอิทธิพลต่อจำนวนการยื่นขอจดสิทธิบัตรภายในประเทศเกาหลีของชาวเกาหลีทำให้จำนวนการยื่นขอจดสิทธิบัตรลดลงอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามอัตราการยื่นขอจดสิทธิบัตรในสหรัฐอเมริกาของชาวเกาหลีก็ไม่ได้รับผลกระทบกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทำให้อัตราการยื่นขอจดสิทธิบัตรในสหรัฐอเมริกาของชาวเกาหลีเฉลี่ยยังคงอยู่ที่ 7.5% แต่ถึงอย่างนั้นอัตราการจด

สิทธิบัตรในสหรัฐฯของชาวเกาหลีในช่วงต้นปี 1990 ก็ลดลงซึ่งสามารถอธิบายได้โดยการเปลี่ยนแปลงกลยุทธ์ในการจดสิทธิบัตรของ บริษัท Samsung Elec จำกัดในทางกลับกัน ประเทศไต้หวันได้ยื่นคำร้องขอสิทธิบัตรของสหรัฐมากกว่า 160% ของชาวสหรัฐฯ ซึ่งเป็นผลมาจากการยื่นขอจดสิทธิบัตรของสหรัฐฯบางรายการที่สอดคล้องกับการใช้งานแบบอรรถประโยชน์ภายในประเทศไต้หวัน ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้อัตราการอนุมัติสิทธิบัตรในไต้หวันของสหรัฐฯ (เฉลี่ย 53.4%) น้อยกว่าของเกาหลี (เฉลี่ย 66.3%) และอัตราการให้สิทธิบัตรของสหรัฐฯแก่ชาวไต้หวันเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่สำหรับชาวเกาหลีมีความผันผวน ซึ่งทำให้คณะผู้วิจัยสรุปได้ว่า การจัดการสิทธิบัตรของชาวไต้หวันสำหรับสิทธิบัตรในสหรัฐอเมริกานั้นดีขึ้น [32]

Plötz และคณะ 2014) งานวิจัยนี้ต้องการระบุลักษณะของผู้ที่ควรเป็นผู้เริ่มต้นใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า (early adopter) ในประเทศเยอรมนี โดยการทำแบบสอบถามที่ประกอบด้วยข้อมูล 3 ชุด ได้แก่ ข้อมูลทางเศรษฐกิจ ข้อมูลทั่วไปทางสังคม และข้อมูลด้านทัศนคติ ไม่ว่าจะเป็นทัศนคติด้านสิ่งแวดล้อมหรือทัศนคติด้านเทคโนโลยี จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธี binary logistic regression ผลการวิจัยพบว่า ผู้ใช้เริ่มแรก (early adopters) มีแนวโน้มเป็นผู้ชาย มีครอบครัว ทำงานเต็มเวลา ซึ่งให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีใหม่และอาจเดินทางต่อเนื่องเป็นระยะทางหลายกิโลเมตรต่อปีเนื่องจากการเดินทางในเขตชานเมืองหรือในชนบท [44]

Priessner, Sposato และ Hampl (2018) งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมายในประเทศออสเตรียที่มีศักยภาพที่แตกต่างกัน ทั้งลักษณะทางสังคม ลักษณะทางจิตวิทยาและสิ่งแวดล้อม รวมถึงศึกษาเหตุจูงใจในการซื้อและการไม่ซื้อรถยนต์ไฟฟ้าของคนในประเทศออสเตรีย โดยให้ตัวอย่าง 1,000 คนในประเทศออสเตรียทำแบบสอบถามออนไลน์เกี่ยวกับทัศนคติ ความเข้าใจในรถยนต์ไฟฟ้า ความพึงพอใจ ความเต็มใจที่จะลงทุนเกี่ยวกับพลังงานทดแทนและแรงจูงใจในการซื้อรถยนต์ไฟฟ้า ผลการวิจัยพบว่า ผู้ใช้เริ่มแรก (early adopters) มีแนวโน้มอาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีนโยบายสนับสนุนการใช้รถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งเหตุจูงใจในการซื้อรถยนต์ไฟฟ้า เพราะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและมีความทันสมัย ส่วนสาเหตุในการไม่ซื้อรถยนต์ไฟฟ้า เพราะไม่มีสิ่งอำนวยความสะดวกที่เพียงพอ ราคาสูง ใช้เวลาในการชาร์จนาน และมีความคิดว่าการใช้รถยนต์สันดาปภายในนั้นดีอยู่แล้ว เป็นต้น [45]

Broadbent, Metternicht และ Drozdzewski (2019) ได้ศึกษาเพื่อระบุถึงอุปสรรคและแรงจูงใจในการนำรถยนต์ไฟฟ้าไปใช้ในออสเตรเลีย รวมถึงการจัดหาข้อมูลที่ถูกต้องในการเปลี่ยนทัศนคติ โดยวิธีการทำการวิจัยได้นำวิธีการแบบผสมผสานที่รวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

สำหรับการวิเคราะห์และการตีความ เพื่อสำรวจผ่านแบบสอบถามออนไลน์สองชุดซึ่งเป็นกลุ่มของผู้ขับขี่รถยนต์ในเมืองส่วนใหญ่ที่มีทัศนคติต่อการซื้อรถ EV โดยจะมีการแบ่งแบบสอบถามเป็น 2 ชุดซึ่งมีทั้งคำถามแบบเปิดและคำถามแบบปิด โดยอุปสรรคและสิ่งจูงใจ สำหรับการซื้อรถ EV นั้นพบว่าประสิทธิภาพของรถEV และราคามีผลต่อการซื้อมากที่สุด และผู้ทำแบบสอบถามครึ่งหนึ่งขับรถมากกว่า 100 กิโลเมตรต่อวันใบบางโอกาส จากการสำรวจพบว่าชาวออสเตรเลีย 1 คนมีแนวโน้มที่จะเป็นเจ้าของรถยนต์ 1 คันมากกว่าหลายคัน อีกทั้งผู้ขับขี่รถยนต์ชาวออสเตรเลียมีความวิตกกังวลมากที่สุดเกี่ยวกับการวิ่งออกจากที่จอดรถ (ผลของช่วงของยานพาหนะและความไม่สะดวกในการชาร์จ) และพบว่ารถยนต์ไฟฟ้าจะได้รับความนิยมมากขึ้นโดยทั่วไปเมื่อพวกเขาไปถึงราคาซื้อที่เทียบเท่ากับรถยนต์ปกติ ผลการศึกษาของสามารถได้ระบุว่าการลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐานจะเป็นการจูงใจให้ผู้ขับขี่รถยนต์ซื้อ EV มากกว่าราคารถที่ลดลง [46]

Farkas และคณะ (2018) ได้สำรวจพฤติกรรมการเดินทาง การรับรู้ทั่วไปและความคาดหวังเกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าและจุดเติมแบตเตอรี่ รวมถึงประสบการณ์และการสนับสนุนจากสาธารณะในการใช้รถยนต์ไฟฟ้า เพื่อสรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญที่สุดในการใช้ยานพาหนะไฟฟ้า โดยมีคำถาม 20 ข้อในแบบสอบถาม มีผู้เข้าร่วมการสำรวจแบบสอบถามจำนวน 311 คน (ผู้ชาย 182 คนและผู้หญิง 129 คน) โดยทำการสำรวจในห้างสรรพสินค้าในเซเกด ประเทศฮังการี ซึ่งคำถามประกอบด้วยคำถามแบบง่าย ๆ ที่มีความเป็นไปได้สองทางหรือหลายทาง (ปลายปิด-เปิด) พบว่า ผู้ทำแบบสอบถามส่วนใหญ่ไม่ได้พิจารณาที่จะซื้อรถยนต์ไฟฟ้าใหม่ในอนาคตอันใกล้เนื่องจากช่วงที่ค่อนข้างต่ำจุดชาร์จไม่กี่แห่งและราคาซื้อที่สูง เนื่องจากความแตกต่างของราคาที่มีนัยสำคัญระหว่างรถยนต์แบบดั้งเดิมและรถยนต์ไฟฟ้าใหม่ รวมไปถึงปัญหาเหล่านี้ ขึ้นอยู่กับความถี่ของการชาร์จที่คาดหวังจุดชาร์จที่มีค่าที่สุดคือสถานีบริการน้ำมันที่อยู่ติดกับทางหลวงซูเปอร์มาร์เก็ตที่จอดรถของตลาดและที่จอดรถ และการสนับสนุนราคาและมลภาวะมีผลอย่างมาก [47]

Zhen-Yu She และคณะ (2019) ได้เสนอแบบจำลองการกระจายนวัตกรรมสำหรับการสร้างฐานสำหรับเพิ่มพลังงานลม เมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของสภาพแวดล้อม โดยในงานวิจัยนี้คำนึงถึงปัจจัยต่อไปนี้เป็นหลักอันได้แก่ ปัจจัยทางเศรษฐกิจ การสร้างกริด การประสานงานของแผนกต่างๆ พลังงาน ความล้มเหลวของระบบไฟฟ้า และการแพร่กระจายของเทคโนโลยี งานวิจัยนี้ได้แบ่งฐานพลังงานลมออกเป็น 4 กลุ่มตามที่ตั้งทางภูมิศาสตร์และเศรษฐกิจเพื่อตรวจสอบลักษณะทั่วไปที่ส่งผลต่อการพัฒนา การวิเคราะห์เชิงบ่งชี้ว่าฐานพลังงานลมทั้ง 8 อาจบรรลุเป้าหมายการพัฒนาภายในปี 2563 และบางส่วนอาจล่าช้าไปถึงปี 2573 ผลกระทบของนโยบายสร้างแรงจูงใจจะแตกต่าง

กันไปในแต่ละภูมิภาค เนื่องจากความแตกต่างของทรัพยากรที่มีอยู่และการพัฒนาเศรษฐกิจ ความพร้อมใช้งานของกริดเป็นอุปสรรคที่ใหญ่ที่สุดในการพัฒนาพลังงานลมในภูมิภาคที่มีทรัพยากรอุดมสมบูรณ์และเศรษฐกิจที่ด้อยพัฒนา ในขณะที่เงินอุดหนุนเป็นตัวขับเคลื่อนหลักในการแพร่กระจายพลังงานลมในภูมิภาคที่พัฒนาแล้ว [48]

Chih-Peng Chu และ Jin-Gu Pan ได้นำเสนอรูปแบบการแพร่กระจายรูปแบบการเติบโตของผู้ใช้บริการอินเทอร์เน็ตบนมือถือในประเทศไต้หวัน โดยใช้แนวคิดของ เทคนิคการทดแทน และการแข่งขันผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ซึ่งเหมาะสมกับลักษณะเฉพาะในตลาดอินเทอร์เน็ตบนมือถือในประเทศไต้หวัน ผลจากการพยากรณ์พบว่า ศักยภาพทางการตลาดสูงสุดโดยประมาณของ GPRS คือ 6.4 ล้านราย ซึ่งจะถึงจุดอิ่มตัวในประมาณไตรมาส 2 ปี 2551 ในทางกลับกัน ช่วงศักยภาพทางการตลาดโดยประมาณของ PHS/3G อยู่ที่ประมาณ 7.2 ถึง 8.0 ล้าน ซึ่งจะมีขนาดตลาดรวมประมาณ 13.6 ถึง 14.4 ล้านราย [49]

Farnaz Ganjeizadeh และคณะ ได้วิเคราะห์แนวโน้มของการขายอุปกรณ์กระตุ้นระบบประสาท (RNS) โดยใช้ looks-like analysis และแบบจำลองการแพร่กระจาย เนื่องจากขาดข้อมูลในอดีตจึงมีการใช้เทคนิคต่างๆ ร่วมกันเพื่อคาดการณ์ความต้องการของอุปกรณ์กระตุ้นระบบประสาทใช้ looks-like analysis เพื่อวิเคราะห์อุปกรณ์อะนาล็อกที่มีความคล้ายกับอุปกรณ์กระตุ้นระบบประสาท (RNS) มากที่สุด จากนั้นใช้แบบจำลองการแพร่กระจาย ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่ายอดขายสูงสุดของอุปกรณ์จะเกิดขึ้นในช่วงปี 2564-2567 [25]

ภวัต ตันสุรัตน์ และ ณัฐสิทธิ์ เกิดศรี ได้นำเสนอการวิเคราะห์คาดการณ์การแพร่กระจายของเทคโนโลยี (Diffusion of Technology) โดยนำทฤษฎีของ Bass Model มาประยุกต์ใช้ผ่านกรณีศึกษาเทคโนโลยีการแสดงผล Organic Light-Emitting Diode (OLED) ในอุปกรณ์พกพาขนาดกลางและขนาดเล็ก (Portable devices) โดยผลการวิจัยบ่งชี้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับนวัตกรรม (Coefficient of Innovation; p) และค่าสัมประสิทธิ์ของการเลียนแบบนวัตกรรม (Coefficient of Imitation; q) จากผลิตภัณฑ์โทรศัพท์มือถือ (Cellular Telephone) สามารถนำมาใช้เพื่อคาดการณ์การแพร่กระจายของเทคโนโลยีจอแสดงผล OLED ได้ ผลการวิเคราะห์คาดการณ์ว่าการกระจายตัวของเทคโนโลยี OLED จะเริ่มขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไปในระหว่างปี 2005 – 2012 และกระจายเข้าสู่ตลาดอย่างมีนัยสำคัญในช่วงปี 2012 – 2018 [27]

Jinyang Lim และคณะ ได้ทำการคาดการณ์การสมัครสมาชิกมือถือ 3G ในจีนแผ่นดินใหญ่ โดยพยายามวัดศักยภาพทางการตลาดของบริการมือถือ 2G ใน 31 มณฑลของจีน และใช้แบบจำลอง

การแพร่กระจายของเบส และใช้ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การยอมรับ ค่าสัมประสิทธิ์การเลียนแบบ และขนาดตลาดของมือถือ 2G ใน 31 มณฑลของจีน [50]

P. Tansurat และ N. Gerdsri ได้นำเสนอการวิเคราะห์แบบจำลองการแพร่กระจายของเบสเพื่อคาดการณ์รูปแบบการแพร่กระจายของเทคโนโลยี OLED ในอุปกรณ์พกพา การวิเคราะห์บ่งชี้ว่าการใช้ p และ q จากโทรศัพท์พกพาซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่คล้ายคลึงกันทำให้ได้ผลลัพธ์ของการพยากรณ์ที่แม่นยำ (p = 0.008 และ, q =0.421) ผลปรากฏว่ายอดขายอุปกรณ์พกพา OLED เริ่มคึกคักขึ้นในปี 2556 และเพิ่มขึ้นอย่างมากในปี 2558 – 2560 [51]

สนธิกิจ ลิมปนาวาณิช ได้ทำการวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์ที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าสาหรับโซนภาคใต้ กรณีศึกษา บริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับหาศูนย์กระจายสินค้าที่ดีที่สุดและใช้โปรแกรมเอ็กเซลโซลเวอร์ (Excel Solver) ในการประมวลผลข้อมูล จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ศูนย์กระจายสินค้าที่ได้รับเลือกมี 2 แห่ง ได้แก่ จังหวัด สงขลา (หาดใหญ่) ซึ่งเป็นจังหวัดที่เป็นศูนย์กระจายสินค้าเดิมโดยต้องกระจายสินค้าไปทั้งหมด 9 จังหวัด และอีกหนึ่งแห่งคือ จังหวัด พัทลุง โดยต้องกระจายสินค้าไปทั้งหมด 3 จังหวัด เมื่อคำนวณต้นทุนทั้งหมดแล้วมีมูลค่ารวมเท่ากับ 1,486,235 บาท/เดือน และหากยังดำเนินกิจกรรมโดยใช้ศูนย์กระจายสินค้าจังหวัด สงขลา (หาดใหญ่) และสร้างศูนย์กระจายสินค้าเพิ่มอีกหนึ่งแห่งในจังหวัดนี้จะมีต้นทุนรวมอยู่ที่ 1,509,173 บาท/เดือน ดังนั้นต้นทุนรวมของการตั้งศูนย์กระจายสินค้าที่ จังหวัด สงขลา (หาดใหญ่) และ จังหวัด พัทลุง มีต้นทุนต่ำกว่าอยู่ 22,938 บาท/เดือน คิดเป็น 1.54% [42]

อภิชณา เรืองรอง ได้แก้ปัญหาการขนส่งของโรงงานกรณีศึกษาแห่งหนึ่งที่มีปัญหาด้านต้นทุนการขนส่งที่สูง ผู้วิจัยได้นพแบบจำลอง Set Covering Problem มาใช้ในการแก้ปัญหาการขนส่ง และได้ใช้ Assignment Problem ในการแก้ปัญหาการจัดภาระงานของรถแต่ละคัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถลดต้นทุนการขนส่งได้ 145,500 บาท คิดเป็น 8.95% และได้จัดสมดุลของภาระงานไม่ให้มากน้อยเกินไป ทำให้ลดการร้องเรียนของพนักงานเรื่องภาระงานที่หนักเกินไปได้ [52]

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดแผนนโยบายส่งเสริมการใช้รถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลไฟฟ้าในประเทศไทย โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

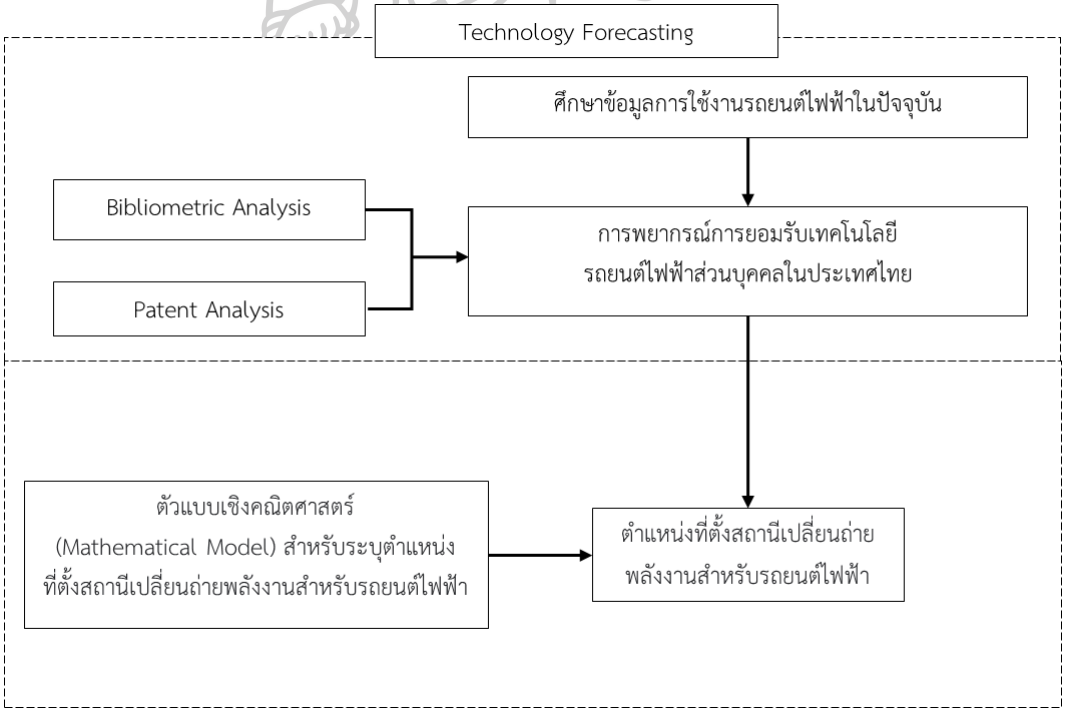
3.1 ศึกษาข้อมูลการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสิทธิบัตร (Patent Analysis)

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลบรรณมิติ (Bibliometric Analysis)

3.4 การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย

3.5 ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) สำหรับระบุตำแหน่งที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

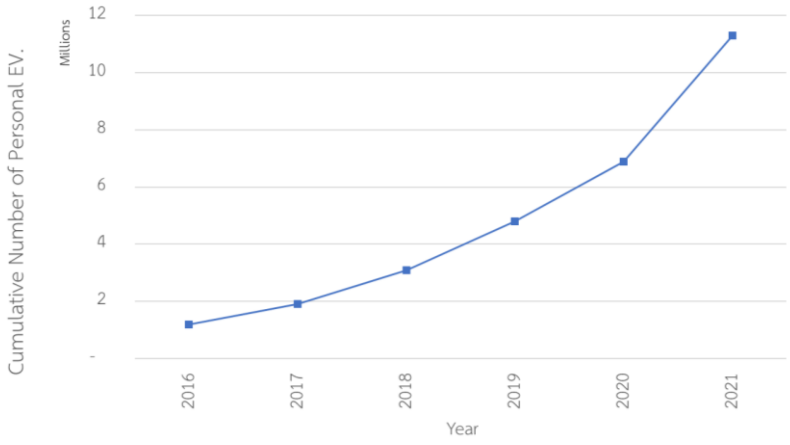


ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

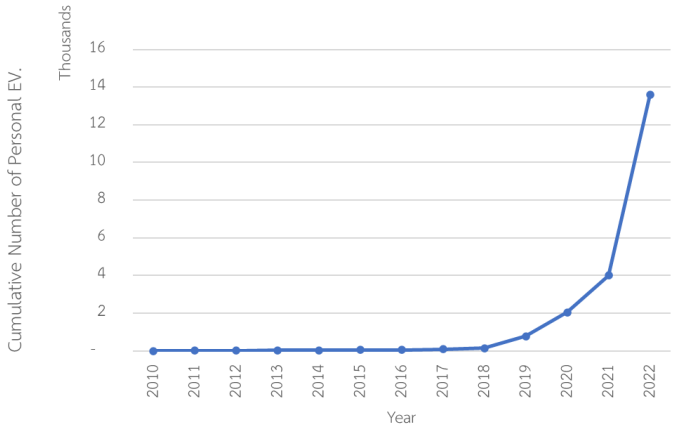
3.1 ศึกษาข้อมูลในประเทศไทยปัจจุบัน

3.1.1 การใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน

จากการศึกษาข้อมูลการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันพบว่า เทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลเริ่มมีการจำหน่ายเชิงพาณิชย์และมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในต่างประเทศตั้งแต่ปี 2016 – 2021 ดังภาพที่ 3.3 และรายละเอียดในภาคผนวก ก สำหรับในประเทศไทยการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลยังมีอยู่น้อยเมื่อเทียบกับจำนวนรถยนต์จดทะเบียนทั้งหมดและเริ่มมีการใช้งานอย่างเห็นได้ชัดเจนในปี 2020 เป็นจำนวน 2,053 คัน ตามภาพที่ 3.4 และรายละเอียดในภาคผนวก ก ทำให้การใช้ข้อมูลจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยในปัจจุบันไม่เพียงพอต่อการพยากรณ์การใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลของประเทศไทย ดังนั้นผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลสิทธิบัตร (Patent Analysis) จากฐานข้อมูลสิทธิบัตรระดับโลกเพื่อใช้ข้อมูลจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในการพยากรณ์ และใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลบรรณมิติ (Bibliometric Analysis) จากฐานข้อมูลวารสารวิชาการระดับนานาชาติเพื่อใช้ข้อมูลจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในการพยากรณ์ เพื่อใช้ในการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย



ภาพที่ 3.3 จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมที่ใช้งานอยู่ทั่วโลก



ภาพที่ 3.4 จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลสะสมตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์

การพัฒนาเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าสามารถเพิ่มขีดจำกัดของรถยนต์ไฟฟ้าจนสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ส่งผลให้เทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าเกิดการพัฒนาอย่างต่อเนื่องผ่านการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ ซึ่งการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ ผู้พัฒนาจำเป็นต้องมีการจดสิทธิบัตรเพื่อคุ้มครองสิ่งประดิษฐ์ของตนไม่ให้เกิดการลอกเลียนแบบโดยไม่ได้รับอนุญาต ดังนั้นจำนวนการจดสิทธิบัตรที่เกี่ยว้ของกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าจึงสามารถบ่งบอกถึงลักษณะของการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าได้ กล่าวคือหากมีการจดสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้ามีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการยอมรับเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องเช่นกัน

การใช้จำนวนวารสารวิชาการ การตีพิมพ์วารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าเป็นที่จับตามองของสาธารณะ จึงมีส่วนทำให้เทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าเป็นที่รู้จักมากขึ้น และได้รับความสนใจมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้นหากมีการตีพิมพ์วารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าเป็นที่จับตามองของทั้งนักวิจัยท่านอื่น ๆ จนเกิดการวิจัยและศึกษาในเทคโนโลยีรถยนต์มากยิ่งขึ้น และเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าก็จะได้รับการยอมรับและแพร่หลายมากยิ่งขึ้นตามไปด้วย แสดงให้เห็นว่าจำนวนการตีพิมพ์วารสารวิชาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าสามารถบ่งบอกถึงลักษณะของการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าได้ด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากทราบจำนวนสิทธิบัตรและจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีในอดีต ก็จะสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์เพื่อพยากรณ์แนวโน้มของเทคโนโลยีในอนาตคได้ด้วย [22]

3.1.2 สถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน

จากการศึกษาข้อมูลพบว่า ประเทศไทยในปัจจุบันมีจำนวนสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าประเภทสถานีชาร์จทั้งหมด 944 สถานี โดยมีจำนวนหัวจ่ายไฟฟ้าสำหรับชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด 2,285 หัวจ่าย ซึ่งเกือบครึ่งกระจายตัวอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครฯ และปริมณฑลเป็นส่วนใหญ่ และกระจายตัวอยู่ในที่สาธารณะหลายแห่ง เช่น สถานีบริการน้ำมัน ห้างสรรพสินค้า โรงแรม โรงพยาบาล โชว์รูม และ ศูนย์บริการรถยนต์ รวมไปถึงสาขาการไฟฟ้านครหลวง(MEA) สาขาการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค(PEA) เป็นต้น [53] และ ณ ปัจจุบัน ระบบการเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้ามีอยู่หลากหลายระบบทั่วโลก แต่ระบบที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายและมีความเร็วในการให้บริการมากที่สุดก็คือระบบการชาร์จแบบเร็วกระแสตรง (Super Fast Charge, DC) ซึ่งใช้เวลาในการให้บริการหรือชาร์จไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าให้มีพลังงานจาก 0% - 80% ได้ในเวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมง [54] ดังนั้นอัตราการให้บริการของสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันจึงอยู่ที่ประมาณ 24 คัน/วัน/หัวจ่าย

จากการสืบค้นข้อมูลจำนวนสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าด้วยโปรแกรม EV Station PluZ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดยกลุ่มบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) และโปรแกรม MEA EV ซึ่งเป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดยการไฟฟ้านครหลวงพบว่า ภาคตะวันออกของประเทศไทยมีสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าให้บริการอยู่ทั้งหมด 68 แห่ง โดยมีจำนวนหัวจ่ายไฟฟ้าสำหรับชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด 174 หัวจ่าย ซึ่งแยกจำนวนสถานีตามอำเภอได้ดังภาคผนวกที่ ข ดังนั้นอัตราการให้บริการของสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในภูมิภาคตะวันออกของประเทศจึงอยู่ที่ประมาณ 4,176 คัน/วัน

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสิทธิบัตร (Patent Analysis)

3.2.1 ฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นจำนวนสิทธิบัตร

งานวิจัยนี้ สืบค้นและเก็บรวบรวมข้อมูลสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาวิเคราะห์การเจริญเติบโตของจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับรถยนต์ไฟฟ้า และจำเป็นต้องสืบค้นข้อมูลสิทธิบัตรจากฐานข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ และเป็นฐานข้อมูลระดับนานาชาติ ดังนั้นฐานข้อมูลที่ผู้วิจัยเลือกใช้เป็นแหล่งข้อมูลในการสืบค้นข้อมูลสิทธิบัตรได้แก่ ฐานข้อมูล Espacenet ซึ่งฐานข้อมูล Espacenet เป็นฐานข้อมูลสำหรับการสืบค้นสิทธิบัตรและการขอจดสิทธิบัตร ได้รับการพัฒนาโดยสำนักงานสิทธิบัตร

ยุโรป (European Patent Office: EPO) ร่วมกับประเทศสมาชิกขององค์กรสิทธิบัตรยุโรป ถือเป็นแหล่งบริการข้อมูลสิทธิบัตรแบบฟรี และเป็นที่นิยมแหล่งหนึ่งสำหรับผู้ที่สนใจค้นคว้าเอกสารสิทธิบัตร ฐานข้อมูลนี้รวบรวมข้อมูลเอกสารสิทธิบัตรของประเทศต่างๆ ในทวีปยุโรป ทวีปอเมริกา และทั่วโลก รวมกว่า 140 ล้านฉบับ

3.2.2 คำค้นหาและวิธีการสืบค้นข้อมูลสิทธิบัตร

การค้นหาสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ใช้คำค้นหาที่เกี่ยวข้องกับคำเรียกเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าที่ถูกเรียกโดยหน่วยงานต่าง ๆ ที่ปรากฏในเอกสารสิทธิบัตร ซึ่งหลังจากการศึกษาพบว่า คำเรียกเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าที่ถูกเรียกโดยหน่วยงานต่าง ๆ

ตารางที่ 3.5 คำเรียกเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าที่ถูกเรียกโดยหน่วยงานต่าง ๆ

No.	Keyword	ที่มา
1	Electric Vehicle	World , Wiki , สมาคมยานยนต์ไฟฟ้าไทย
2	Battery Electric Vehicles	กระทรวงพลังงานสหรัฐ
3	Electric Cars	องค์การพลังงานระหว่างประเทศ
4	Pure Electric Vehicle	บริษัท Lex Autolease
5	Pure Electric Cars	บริษัท Volvo

การค้นหาสิทธิบัตรด้วยคำเรียกเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าที่ถูกเรียกโดยหน่วยงานต่าง ๆ ที่ปรากฏในเอกสารสิทธิบัตรตามตารางที่ 3.5 จะทราบจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่จดทะเบียนในแต่ละปี และสามารถนำมาคำนวนจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่จดทะเบียนสะสม และ จำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่จดทะเบียนสะสมย้อนหลัง 1 ปี ได้และมีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค ข้อมูลนี้จะถูกนำไปใช้ในการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจำนวนสิทธิบัตรต่อไป

3.3 วิเคราะห์ข้อมูลบรรณมิติ (Bibliometric Analysis)

3.3.1 ฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นจำนวนวารสารวิชาการ

ในการศึกษา สืบค้นและเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลบรรณมิติในงานวิจัยนี้ จำเป็นต้องสืบค้นข้อมูลวารสารวิชาการระดับนานาชาติจากฐานข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือและเป็นฐานข้อมูลระดับนานาชาติ ดังนั้นฐานข้อมูลที่ผู้วิจัยเลือกใช้เป็นแหล่งข้อมูลในการสืบค้นข้อมูลวารสารวิชาการระดับนานาชาติได้แก่ฐานข้อมูล Science Direct ฐานข้อมูล Science Direct เป็นระบบสืบค้นบทความวารสาร สาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการแพทย์ จำนวนกว่า 1,800 ชื่อ ของสำนักพิมพ์ Elsevier Science, Academic Press และสำนักพิมพ์อื่นๆ รวมทั้งวารสาร Reviews (Trends & Current Opinion) จำนวนกว่า 6.2 ล้านระเบียน สามารถเข้าใช้บทความฉบับเต็ม และสามารถเรียกใช้ full-text ย้อนหลังได้ตั้งแต่ปี 1995 – ปัจจุบัน

3.3.2 คำค้นหาและวิธีการสืบค้นข้อมูลวารสารวิชาการ

การวิจัยเริ่มต้นด้วยการศึกษาคำเรียกเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าที่ถูกเรียกโดยหน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งหลังจากการศึกษาพบว่า คำเรียกเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าที่ถูกเรียกโดยหน่วยงานต่าง ๆ มีดังตารางที่ 3.5 เช่นเดียวกับคำค้นหาและสืบค้นจำนวนสิทธิบัตร

การค้นหาวารสารวิชาการด้วยคำเรียกเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าที่ถูกเรียกโดยหน่วยงานต่าง ๆ ที่ปรากฏในเอกสารสิทธิบัตรตามตารางที่ 3.5 จะทราบจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่จดทะเบียนในแต่ละปี และสามารถนำมาคำนวนจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่จดทะเบียนสะสม และ จำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่จดทะเบียนสะสมย้อนหลัง 1 ปี ได้และมีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง ข้อมูลนี้จะถูกนำไปใช้ในการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลจำนวนวารสารวิชาการต่อไป

3.4 การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย

การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยเริ่มพยากรณ์จากปีแรกที่มีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย ซึ่งจากข้อมูลสถิติจำนวนรถที่จดทะเบียนใหม่ตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ กฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบก พบว่าในประเทศไทยมีการจดทะเบียนรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในปี 2020 ดังนั้นในการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยจึงเริ่มพยากรณ์ ณ ปีที่ 0 คือปี 2020 ซึ่งเป็นปีแรกที่มีการใช้งานรถยนต์

ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ตัวแบบการแพร่กระจายของเบส (Bass Diffusion Model) ในการพยากรณ์ เนื่องจากแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมกับการพยากรณ์เทคโนโลยีใหม่และแสดงให้เห็นถึงรูปแบบของการแพร่กระจายของเทคโนโลยีได้เป็นอย่างดี โดยมีสมการดังนี้

$$S(t) = [p + (q/m)(N(t-1))][m - N(t-1)] \quad (3.1)$$

เมื่อ S(t) = จำนวนประชากรที่ยอมรับเทคโนโลยี ณ ปีที่ t

p = ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับนวัตกรรม (The Coefficient of Innovation)

q = ค่าประสิทธิ์ของการเลียนแบบนวัตกรรม (The Coefficient of Imitation)

m = ค่าขีดจำกัดของจำนวนประชากรที่คาดว่าเป็นไปได้ในอนาคต

N(t-1) = จำนวนประชากรที่ยอมรับเทคโนโลยีสะสม(Cumulative Number)ย้อนหลัง1ปี

โดยการสร้างสมการจำเป็นต้องใช้ข้อมูลในอดีตเป็นตัวกำหนดแนวโน้มของการพยากรณ์ โดยมีขั้นตอนการพยากรณ์ดังนี้

1) สืบค้นข้อมูลในอดีต

งานวิจัยนี้ทำการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย โดยใช้แบบจำลอง Bass Diffusion Model ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคล และมีข้อมูลย้อนหลังอย่างน้อย 10 ปี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้

- จำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในแต่ละปีตั้งแต่ปี ค.ศ. 2005 - ค.ศ. 2022 เพราะจากการสืบค้นพบว่าเอกสารสิทธิบัตรจะปรากฏออกมาก่อนที่เทคโนโลยีนั้น ๆ จะเข้าสู่ตลาดเป็นเวลาตั้งแต่ 0 – 3 ปี [55], [56] ซึ่งเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าถูกเปิดตัวอย่างเป็นทางการในปี 2008 โดยบริษัท Tesla [57] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้จำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในช่วงตั้งแต่ปี 2005 – 2022 ในการพยากรณ์การยอมรับรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย โดยจำนวนการจดทะเบียนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่ใช้ในงานวิจัยมีรายละเอียดตามภาคผนวก ค

- จำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในแต่ละปีตั้งแต่ปี ค.ศ 2000 - ค.ศ. 2022 เพราะเนื่องจากข้อจำกัดด้านการค้นหา ทำให้พบข้อมูลวารสารวิชาการระดับนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลเพียงแค่ 22 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ 2000 - ค.ศ. 2022 เท่านั้น อย่างไรก็ตามจำนวนวารสารวิชาการระดับนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละปี ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ข้อมูลของวารสารวิชาการระดับนานาชาติในช่วงตั้งแต่ปี ค.ศ 2000 - ค.ศ. 2022 ในการพยากรณ์การยอมรับรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย โดยจำนวนการตีพิมพ์วารสารวิชาการระดับนานาชาติเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่ใช้ในงานวิจัยมีรายละเอียดตามภาคผนวก ง

2) การหาขนาดตลาดของรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย (m)

การประมาณการขนาดตลาดของรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย เพื่อพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศในงานวิจัยนี้ เลือกใช้เป้าหมายของกระทรวงพลังงานที่ประชุมร่วมกับกระทรวงอุตสาหกรรมในการประชุมคณะกรรมการนโยบายยานยนต์ไฟฟ้าแห่งชาติ ณ วันที่ 24 มีนาคม 2021 โดยมีมติว่าต้องการผลักดันให้มีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยให้ถึง 6,400,000 คัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เป้าหมายจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยในการประชุมคณะกรรมการนโยบายยานยนต์ไฟฟ้าแห่งชาติเป็นขนาดตลาดของรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยซึ่งเท่ากับ 6,400,000 คัน

3) การหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย α_1, α_2, α_3

นำจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคล และจำนวนวารสารวิชาการระดับนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลสะสม และจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลสะสมย้อนหลัง 1 ปี และ จำนวนวารสารวิชาการระดับนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคล สะสม และจำนวนวารสารวิชาการระดับนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลสะสมย้อนหลัง 1 ปี โดยสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสอง (Quadratic Polynomial Regressions) ที่ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย α_1, α_2, α_3 มีรูปแบบสมการดังนี้

$$S(t) = pm + (q-p)N(t-1) - (q/m)(N(t))^2 \quad (3.2)$$

โดยที่ $\alpha_1 = pm$ (3.3)

$\alpha_2 = q-p$ (3.4)

และ $\alpha_3 = -q/m$ (3.5)

จะได้ $S(t) = \alpha_1 + \alpha_2 N(t-1) - \alpha_3 (N(t-1))^2$ (3.6)

เมื่อ S(t) = จำนวนประชากรที่ยอมรับเทคโนโลยี ณ ปีที่ t

N(t-1) = จำนวนประชากรที่ยอมรับเทคโนโลยีสะสม(Cumulative Number)ย้อนหลัง1ปี

งานวิจัยนี้จะนำข้อมูลที่ได้ไปทำการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีโดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics ในการหาเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุด (Fitting Curve) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์หน้าสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสองที่ได้จากโปรแกรม IBM SPSS Statistics คือค่า α_1, α_2 และ α_3 ตามสมการที่ 3.6

4) หาค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับเทคโนโลยี(p) และค่าสัมประสิทธิ์ของการเลียนแบบเทคโนโลยี(q)

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย α_1, α_2 และ α_3 จากสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสอง (Quadratic Polynomial Regressions) โดยใช้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้ารายปีกับจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าสะสมย้อนหลัง 1 ปี และจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้ารายปีกับจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าสะสมย้อนหลัง 1 ปีแล้ว สามารถแทนค่า α_1, α_2 และ α_3 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับเทคโนโลยี (p) และค่าสัมประสิทธิ์ของการเลียนแบบเทคโนโลยี (q) ของจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลและจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลได้โดยแทนค่าในสมการที่ 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ จากนั้นนำค่า p และ q ที่ได้ไปใช้ในการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยต่อไป

$$p = \frac{-\alpha_2 + \sqrt{\alpha_2^2 - 4\alpha_1\alpha_3}}{2} \quad (3.7)$$

$$q = \frac{\alpha_2 + \sqrt{\alpha_2^2 - 4\alpha_1\alpha_3}}{2} \quad (3.8)$$

5) การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย

หลังจากได้ขนาดตลาดของรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย (m), ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับเทคโนโลยี (p) และค่าสัมประสิทธิ์ของการเลียนแบบเทคโนโลยี (q) ของจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลและจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคล จากนั้นทำการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยด้วยสมการที่ 3.1 และเทียบกับค่าจริง เพื่อวิเคราะห์ว่าการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของจำนวนสิทธิบัตร หรือการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของจำนวนวารสารวิชาการ ใกล้เคียงกับค่าจริงและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด

จากงานวิจัยในส่วนของการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยข้างต้น จะทำให้ทราบถึงจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่จะมีใช้ในประเทศไทยในแต่ละปีในอนาคต ซึ่งข้อมูลนี้สามารถใช้เพื่อวางแผนการจัดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลให้ครอบคลุมและเพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลได้

3.5 ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับระบุที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

การวิจัยในส่วนของการวางตำแหน่งที่ตั้งสถานีชาร์จจะทำการวิจัยเฉพาะในพื้นที่ภูมิภาคตะวันออกของประเทศไทย เนื่องจากภาคตะวันออกของประเทศไทยเป็นพื้นที่ยุทธศาสตร์การลงทุนและเป็นฐานการผลิตอุตสาหกรรมชั้นนำของประเทศ เช่น ปิโตรเคมี อุตสาหกรรมยานยนต์ พลังงาน เป็นต้น ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มวลรวมภาคของภาคตะวันออก (Gross Regional Product: GRP) มีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 17.6 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ หรือกล่าวได้ว่าขนาดเศรษฐกิจภาคตะวันออกใหญ่เป็นลำดับที่ 2 รองจากกรุงเทพฯ และปริมณฑลที่มีผลิตภัณฑ์มวลรวมคิดเป็น ร้อยละ 46.8 ของ GDP (สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง) และจากสถิตินักท่องเที่ยวภายในประเทศไทยปี 2562 พบว่าภูมิภาคตะวันออกของประเทศไทยเป็นภูมิภาคที่มีรายได้จากการท่องเที่ยวสูงเป็นอันดับ 3 รองจาก กรุงเทพมหานครฯ และ ภาคใต้ของประเทศไทย (กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาในภูมิภาคตะวันออกของประเทศไทย เพราะเป็นภูมิภาคที่มีความสำคัญในด้านเศรษฐกิจและการท่องเที่ยวเป็นลำดับต้น ๆ ของประเทศไทย

การหาตำแหน่งที่ตั้งสถานีชาร์จต้องคำนึงถึงความครบคุมผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด ดังนั้นเมื่อทราบปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละปีในไทยจากการพยากรณ์แล้ว จึงนำมาเทียบสัดส่วนกับจำนวนรถที่จดทะเบียนสะสมในแต่ละอำเภอในจังหวัดภาคตะวันออก เพื่อระบุตำแหน่งที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าให้ครบคุมผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในภาคตะวันออกให้มากที่สุด โดยในงานวิจัยนี้จะระบุตำแหน่งที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในระดับอำเภอ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แบบจำลองที่สามารถระบุตำแหน่งที่ตั้งสถานีชาร์จให้คลอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าให้ได้มากที่สุดด้วยต้นทุนที่น้อยที่สุด ซึ่งตรงกับแบบจำลองปัญหาการปกคลุมเซต (Set Covering Problem) เนื่องจากแบบจำลองดังกล่าวคำนึงถึงการครอบคลุมความต้องการให้ทั่วถึงด้วยต้นทุนที่น้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้ได้มาซึ่งตำแหน่งที่ตั้งสถานีชาร์จที่น้อยที่สุดและครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างครบท้วน โดยในงานวิจัยนี้จะทำการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุด 2 รอบโดยแต่ละรอบมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1) ระบุตำแหน่งที่ตั้งสถานีชาร์จให้คลอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าได้อย่างทั่วถึงในจำนวนสถานีที่น้อยที่สุด โดยแบบจำลองปัญหาการปกคลุมเซตเพื่อวัตถุประสงค์นี้สามารถกำหนดตามโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (ILP) ได้ดังนี้

   ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีที่น้อยที่สุด

   ตัวแปลตัดสินใจ คือ ตั้งสถานีที่อำเภอใดบ้าง

   โดย x_i = 1 ; เลือกตั้งสถานีชาร์จที่อำเภอ i

   = 0 ; ไม่ตั้งสถานีชาร์จที่อำเภอ i

   เงื่อนไขที่ 1 คือ แต่ละอำเภอต้องมี 1 สถานีให้ไปชาร์จ

   เงื่อนไขที่ 2 คือ แต่ละอำเภอต้องมีสถานีอยู่ห่างเป็นระยะทางอย่างน้อยตามที่กำหนด

2) ระบุตำแหน่งที่ตั้งสถานีชาร์จให้ครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด โดยแบบจำลองการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อวัตถุประสงค์นี้สามารถกำหนดตามโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (ILP) ได้ดังนี้

   ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ครอบคลุมผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด

   ตัวแปลตัดสินใจ คือ ตั้งสถานีที่อำเภอใดบ้าง

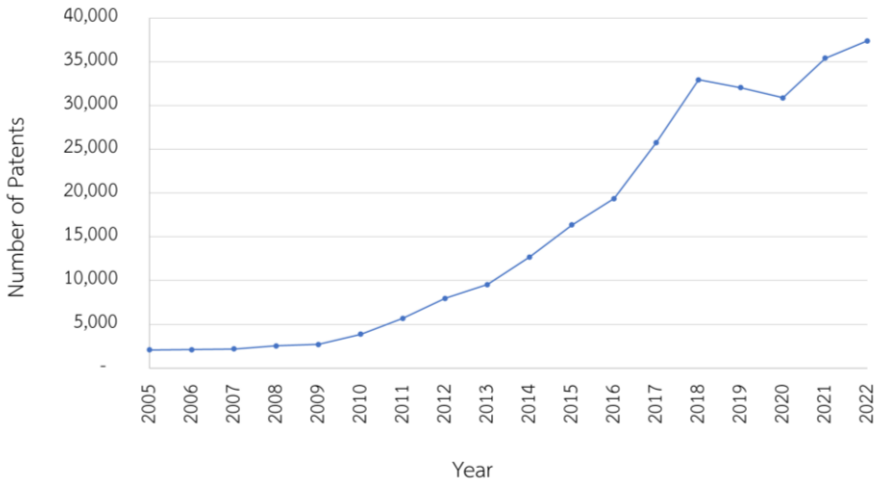
   เงื่อนไข คือ จำนวนสถานีต้องน้อยที่สุดตามผลการแก้ปัญหาใน a.

ในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม Microsoft Excel ช่วยในการหาคำตอบของปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการระบุตำแหน่งที่ตั้งสถานีชาร์จให้ครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าได้อย่างทั่วถึงและครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

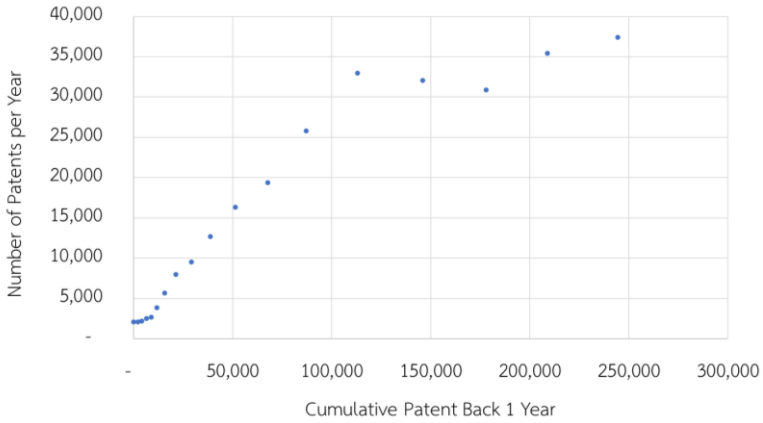
4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสิทธิบัตร (Patent Analysis)

1) จากการสืบค้นข้อมูลจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า พบว่าจำนวนสิทธิบัตรที่จดทะเบียนมีจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในแต่ละปี ตั้งแต่ปี 2005 – 2022 ดังภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าการจดสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าปรากฏออกมาก่อนที่เทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าจะเข้าสู่ตลาดในปี 2008 ซึ่งเป็นไปตามการคาดการณ์ในหลายงานวิจัย [55], [56]



ภาพที่ 4.5 จำนวนสิทธิบัตรที่จดทะเบียนในแต่ละปี

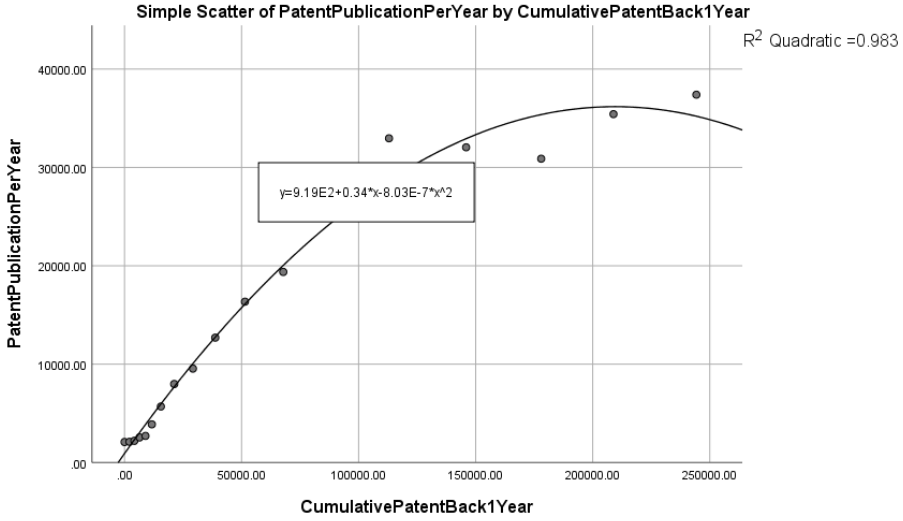
2) นำข้อมูลจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าที่สืบค้นได้ ไปหาความสัมพันธ์ตามรูปแบบสมการการแพร่กระจายที่ 2.1 ระหว่างจำนวนสิทธิบัตรที่จดทะเบียนในแต่ละปีกับจำนวนสิทธิบัตรที่จดทะเบียนสะสมย้อนหลัง 1 ปีได้ดังภาพที่ 4.6 เพื่อหาสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสอง (Quadratic Polynomial Regressions) [25] เพื่อให้ทราบค่าสัมประสิทธิ์ α_1, α_2, α_3 ที่ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับนวัตกรรม (p) และค่าประสิทธิ์ของการเลียนแบบนวัตกรรม (q) ต่อไป



ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสิทธิบัตรที่จดทะเบียนในแต่ละปีกับจำนวนสิทธิบัตรที่จดทะเบียนสะสมย้อนหลัง 1 ปี

4.1.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์ α_1, α_2, α_3

การหาค่าสัมประสิทธิ์ α_1, α_2, α_3 ของจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลสะสมตามภาคผนวก ค ไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลสะสมและจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลสะสมย้อนหลังเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ α_1, α_2, α_3 ในรูปของสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสอง (Quadratic Polynomial Regressions) โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics จะได้แผนภาพ Fitted Line Plot ของจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 แผนภาพ Fitted Line Plot ของจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า

และได้สมการดังสมการที่ 4.1

$$S(t) = 919.493 + 0.337\ N(t-1) - 0.000000803(N(t-1))^2 \quad (4.1)$$

เมื่อ $S(t)$ = จำนวนประชากรในช่วงเวลา t

$N(t-1)$ = จำนวนประชากรสะสมย้อนหลัง 1 ปี

จากสมการที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า α_1 = 919.493 , α_2 = 0.337 และ α_3 = 0.000000803 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R square : R^2) = 98.3% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ α_1, α_2, α_3 มีค่าใกล้เคียงกับค่าสังเกตมาก ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ α_1, α_2, α_3 จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับนวัตกรรม (p) และค่าประสิทธิ์ของการเลียนแบบนวัตกรรม (q) ต่อไป

4.1.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับเทคโนโลยี (p) และค่าประสิทธิ์ของการเลียนแบบเทคโนโลยี (q)

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ α_1, α_2, α_3 จากการสร้างสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสอง (Quadratic Polynomial Regressions) โดยใช้ข้อมูลจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับรถยนต์ไฟฟ้าแล้ว นำค่าสัมประสิทธิ์ α_1, α_2, α_3 แทนค่าลงในสมการที่ 3.7 และ 3.8 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับเทคโนโลยี (p) และค่าประสิทธิ์ของการเลียนแบบเทคโนโลยี (q) ได้ดังนี้

$$p = \frac{-0.337 + \sqrt{(0.337)^2 - 4(919.493)(0.000000803)}}{2}$$

$$p = 0.003234921$$

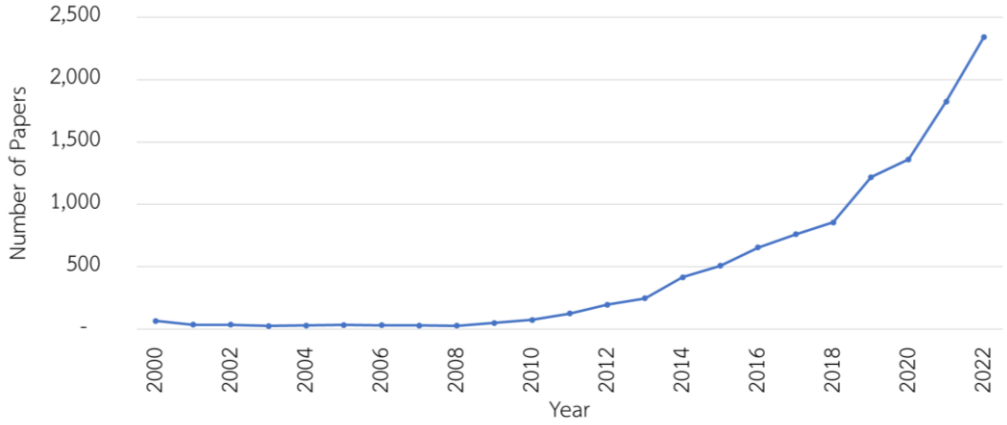
$$q = \frac{0.337 + \sqrt{(0.337)^2 - 4(919.493)(0.000000803)}}{2}$$

$$q = 0.339176896$$

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับเทคโนโลยี (p) ของจำนวนสิทธิบัตรเกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่ได้จากการแทนค่า α_1 = 919.493 , α_2 = 0.337 และ α_3 = 0.000000803 มีค่าเท่ากับ 0.003234921 และค่าประสิทธิ์ของการเลียนแบบเทคโนโลยี (q) ของจำนวนสิทธิบัตรเกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่ได้จากการแทนค่า α_1 = 919.493 , α_2 = 0.337 และ α_3 = 0.000000803 มีค่าเท่ากับ 0.339176896

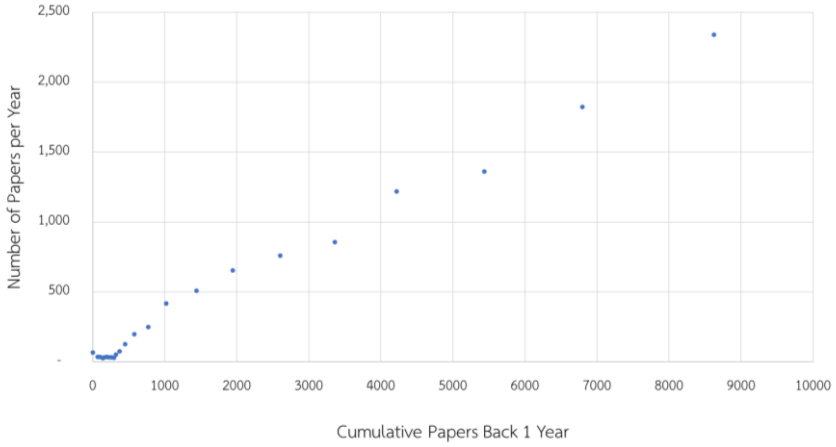
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลบรรณมิติ (Bibliometric Analysis)

1) จากการสืบค้นข้อมูลจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า พบว่ามีการตีพิมพ์วารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าตั้งแต่ปี 2000 – 2022 อย่างไรก็ตาม จำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้ามีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในปี 2008 ซึ่งเป็นปีที่เทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าเข้าสู่ตลาด [57]



ภาพที่ 4.8 จำนวนวารสารวิชาการที่จดทะเบียนในแต่ละปี

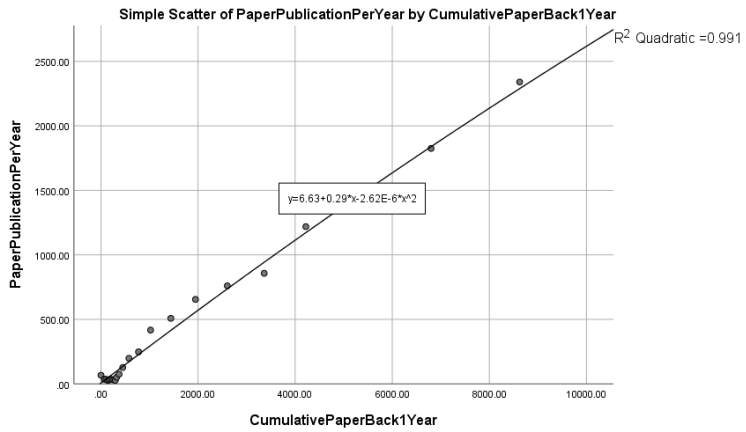
2) นำข้อมูลจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าที่สืบค้นได้ ไปหาความสัมพันธ์ตามรูปแบบสมการการแพร่กระจายที่ 2.1 ระหว่างจำนวนวารสารวิชาการที่จดทะเบียนในแต่ละปีกับจำนวนวารสารวิชาการสะสมย้อนหลัง 1 ปีได้ดังภาพที่ 4.9 เพื่อหาสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสอง (Quadratic Polynomial Regressions) [25] เพื่อให้ทราบค่าสัมประสิทธิ์ α_1, α_2, α_3 ที่ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับนวัตกรรม (p) และค่าประสิทธิ์ของการเลียนแบบนวัตกรรม (q) ต่อไป



ภาพที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวารสารวิชาการที่จดทะเบียนในแต่ละปีกับจำนวนวารสารวิชาการที่จดทะเบียนสะสมย้อนหลัง 1 ปี

4.2.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์ α_1, α_2, α_3

การหาค่าสัมประสิทธิ์ α_1, α_2, α_3 ของจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลสะสมตามภาคผนวก ง ไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลสะสมและจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลสะสมย้อนหลัง เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ α_1, α_2, α_3 ในรูปของสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสอง (Quadratic Polynomial Regressions) โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics จะได้แผนภาพ Fitted Line Plot ของจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 แผนภาพ Fitted Line Plot ของจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า

และได้สมการดังสมการที่ 4.2

$$S(t) = 6.63 + 0.287N(t-1) - 0.000002624(N(t-1))^2 \quad (4.2)$$

เมื่อ $S(t)$ = จำนวนประชากรในช่วงเวลา t

$N(t-1)$ = จำนวนประชากรสะสมย้อนหลัง 1 ปี

จากสมการที่ 4.2 พบว่า $\alpha_1 = 6.63$, $\alpha_2 = 0.287$ และ $\alpha_3 = 0.000002624$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R square : R^2) = 99.1% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ α_1, α_2, α_3 มีค่าใกล้เคียงกับค่าสังเกตมาก ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ α_1, α_2, α_3 จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับเทคโนโลยี (p) และค่าประสิทธิ์ของการเลียนแบบเทคโนโลยี (q) ต่อไป

4.2.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับเทคโนโลยี (p) และค่าประสิทธิ์ของการเลียนแบบเทคโนโลยี (q)

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ α_1, α_2, α_3 จากการสร้างสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสอง (Quadratic Polynomial Regressions) โดยใช้ข้อมูลจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับรถยนต์ไฟฟ้าแล้ว นำค่าสัมประสิทธิ์ α_1, α_2, α_3 แทนค่าลงในสมการที่ 3.7 และ 3.8 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับเทคโนโลยี (p) และค่าประสิทธิ์ของการเลียนแบบเทคโนโลยี (q) ได้ดังนี้

$$p = \frac{-0.287 + \sqrt{(0.287)^2 - 4(6.63)(0.000002624)}}{2}$$

$$p = 0.000060641$$

$$q = \frac{0.287 + \sqrt{(0.287)^2 - 4(6.63)(0.000002624)}}{2}$$

$$q = 0.287060641$$

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับเทคโนโลยี (p) ของจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่ได้จากการแทนค่า $\alpha_1 = 6.63$, $\alpha_2 = 0.287$ และ $\alpha_3 = 0.000002624$ มีค่าเท่ากับ 0.000060641 และค่าประสิทธิ์ของการเลียนแบบเทคโนโลยี (q) ของจำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่ได้จากการแทนค่า $\alpha_1 = 6.63$, $\alpha_2 = 0.287$ และ $\alpha_3 = 0.000002624$ มีค่าเท่ากับ 0.287060641

4.3 การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย

4.3.1 การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์สิทธิบัตร

จากค่าขนาดตลาดของรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย (m) , ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับเทคโนโลยี (p) และค่าประสิทธิ์ของการเลียนแบบเทคโนโลยี (q) ที่ได้จากการวิเคราะห์สิทธิบัตรในหัวข้อที่ 4.1.2 นำไปแทนค่าในสมการที่ 3.1 เพื่อพยาการณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศที่จะเกิดขึ้น (S(t)) ได้ดังนี้

จากสมการ $S(t) = [p + (q/m)(N(t-1))][m - N(t-1)]$

เมื่อ $S(t)$ = จำนวนประชากรที่ยอมรับเทคโนโลยี ณ ปีที่ t

p = ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับนวัตกรรม

q = ค่าประสิทธิ์ของการเลียนแบบนวัตกรรม

m = ค่าขีดจำกัดของจำนวนประชากร

$N(t-1)$ = จำนวนประชากรสะสมย้อนหลัง 1 ปี

จะได้ $S(t) = [0.003234921+(0.339176896/(6.4X10^6))(0)]\ [(6.4X10^6)- 0]$; t=0

$S(t) = 13,932$

และจากสมการ $N(t) = S(t) + N(t)$

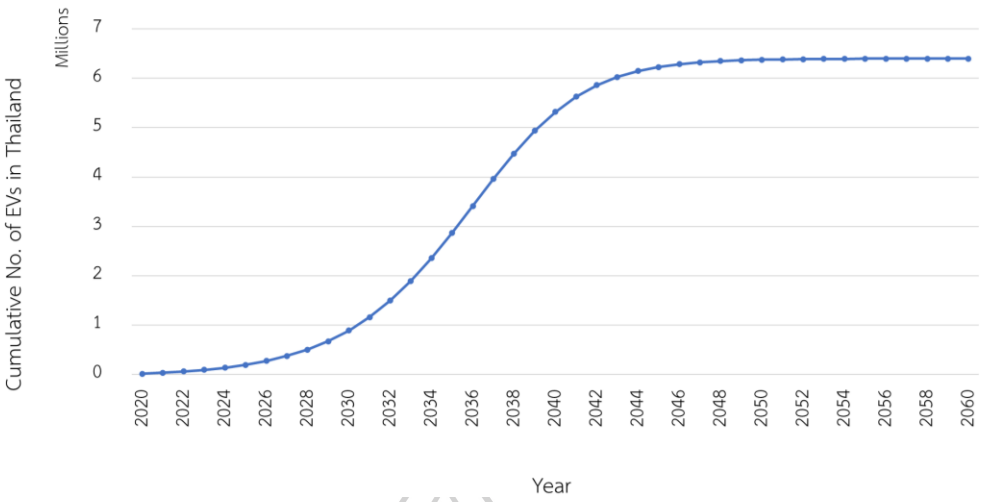
เมื่อ $N(t)$ = จำนวนประชากรที่ยอมรับเทคโนโลยีสะสม ณ ปีที่ t

จะได้ $N(t) = 13,932 + 0$; t=0

ดังนั้น $N(0) = 13,932$

จากนั้นแทนค่า t ณ เวลาใด ๆ ลงในสมการเพื่อหาจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา (S(t)) , จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสม (N(t)) , ร้อยละของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา (S(t)/m) และ ร้อยละของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสม (N(t)/m) ซึ่งแสดงให้เห็นดังภาคผนวกที่ จ

จากการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยด้วยค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์สิทธิบัตรพบว่า จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าจะถึงจุดอิ่มตัว ในปีที่ ค.ศ. 2040 โดยมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าจดทะเบียนสะสมเท่ากับ 5,323,338 คันและจะถึงจุดสิ้นสุดในปีที่ ค.ศ. 2060



ภาพที่ 4.11 แนวโน้มจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในไทยจากการพยากรณ์ด้วยจำนวนสิทธิบัตร

4.3.2 การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลบรรณมิติ

จากค่าขนาดตลาดของรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย (m) , ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับเทคโนโลยี (p) และค่าประสิทธิ์ของการเลียนแบบเทคโนโลยี (q) ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลบรรณมิติในหัวข้อที่ 4.2.2 นำไปแทนค่าในสมการที่ 3.1 เพื่อพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศที่จะเกิดขึ้น (S(t)) ได้ดังนี้

จากสมการ $S(t) = [p + (q/m)(N(t-1))][m - N(t-1)]$

เมื่อ $S(t)$ = จำนวนประชากรที่ยอมรับเทคโนโลยี ณ ปีที่ t

p = ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับนวัตกรรม

q = ค่าประสิทธิ์ของการเลียนแบบนวัตกรรม

m = ค่าขีดจำกัดของจำนวนประชากร

$N(t-1)$ = จำนวนประชากรสะสมย้อนหลัง 1 ปี

จะได้ $S(t) = [\ 0.000060641+(0.287060641/(6.4X10^{6}))(0)][(6.4X10^{6})- 0]$; t=0

$S(t) = 388$

และจากสมการ $N(t) = S(t) + N(t)$

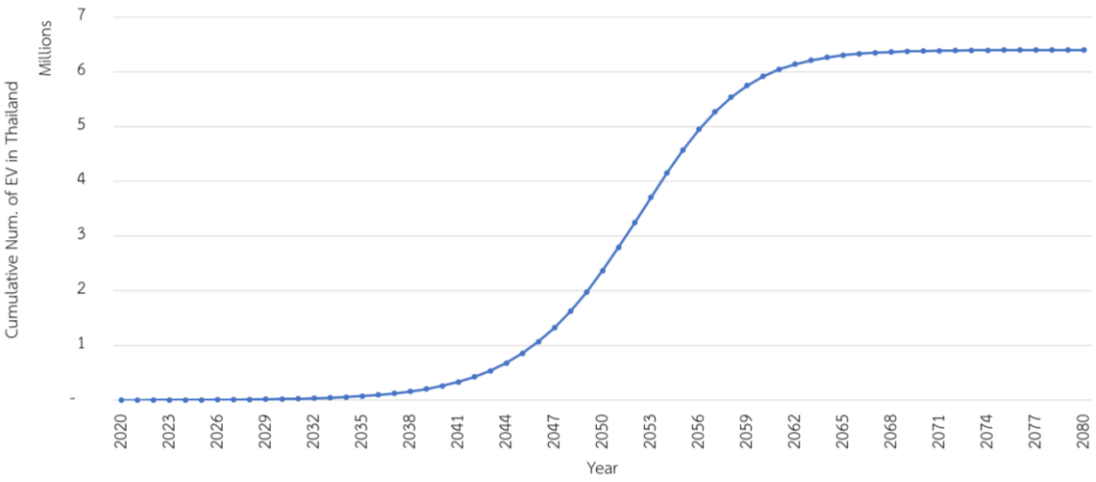
เมื่อ $N(t)$ = จำนวนประชากรที่ยอมรับเทคโนโลยีสะสม ณ ปีที่ t

จะได้ $N(t) = 388 + 0$; t=0

ดังนั้น $N(0) = 388$

จากนั้นแทนค่า t ณ เวลาใด ๆ ลงในสมการเพื่อหาจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา (S(t)) , จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสม (N(t)) , ร้อยละของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา (S(t)/m) และ ร้อยละของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสม (N(t)/m) ซึ่งแสดงให้เห็นดังภาคผนวก ฉ

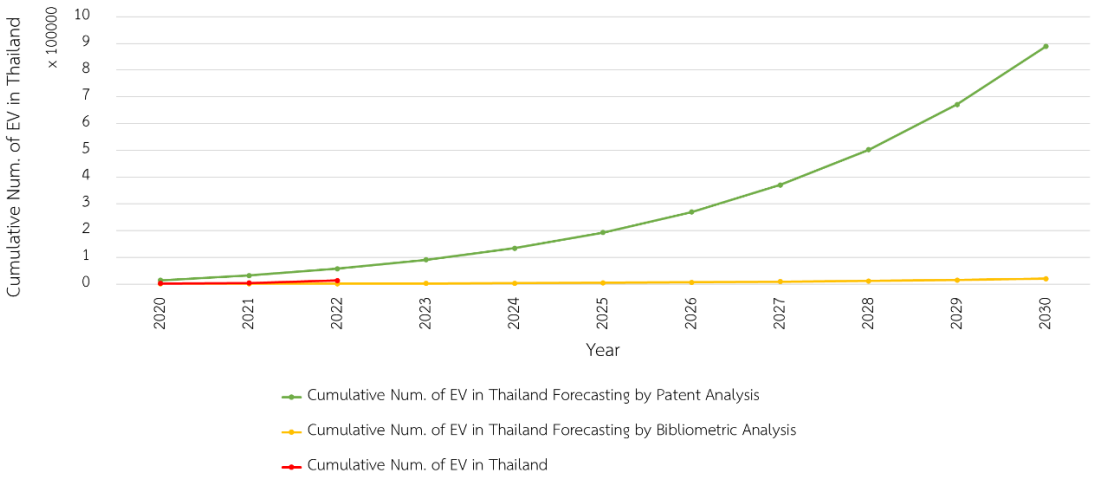
จากการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยด้วยค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลบรรณมิติพบว่า จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าจะถึงจุดอิ่มตัว ในปีที่ ค.ศ. 2058 โดยมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าจดทะเบียนสะสมเท่ากับ 5,270,145 คัน และจะถึงจุดสิ้นสุดในปีที่ ค.ศ. 2080



ภาพที่ 4.12 แนวโน้มจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในไทยจากการพยากรณ์ด้วยจำนวนวารสารวิชาการ

4.3.3 วิเคราะห์ผลการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย

จากการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยด้วยข้อมูลสิทธิบัตรและข้อมูลวารสารวิชาการ เมื่อนำผลการพยากรณ์มาแสดงในรูปแบบของกราฟ S-Curved โดยเทียบกับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยในปัจจุบันพบว่า แนวโน้มการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยที่พยากรณ์จากข้อมูลวารสารวิชาการมีความใกล้เคียงและเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยในปัจจุบัน มากกว่าแนวโน้มการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยที่พยากรณ์จากข้อมูลจำนวนสิทธิบัตรดังภาพที่ 4.13 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แนวโน้มการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยที่พยากรณ์จากข้อมูลจำนวนวารสารวิชาการในการวิเคราะห์เพื่อคำนวนหาจำนวนสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า



ภาพที่ 4.13 แนวโน้มการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในไทยที่พยากรณ์ด้วยจำนวนสิทธิบัตรและจำนวนวารสารวิชาการ เทียบกับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในไทย

จากแนวโน้มการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยที่พยากรณ์ด้วยจำนวนวารสารวิชาการพบว่า ในปี ค.ศ. 2020 – 2046 อัตราการใช้รถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ แต่อย่างไรก็ตามในปี ค.ศ. 2046 – 2058 อัตราการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว นั่นหมายความว่าทั้งภาครัฐและเอกชนมีเวลาตั้งแต่วันนี้จนถึงปี ค.ศ. 2046 ในการเตรียมสิ่งอำนวยความสะดวกและระบบสนับสนุนผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด ภาครัฐและภาคเอกชนควรมีวาระเร่งด่วนในการวางแผนนโยบายรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อให้แน่ใจว่าผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยจะได้รับการสนับสนุนด้านการใช้รถยนต์ไฟฟ้าอย่างทั่วถึง มิฉะนั้น หากการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยเริ่มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยอาจประสบปัญหาทั้งในด้านของสินค้าและบริการ ซึ่งอาจทำให้จำนวนผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยไม่เป็นไปตามการพยากรณ์โดยสิ้นเชิง

และเพื่อให้ภาครัฐและภาคเอกชนสามารถมองเห็นถึงปริมาณการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าได้ง่ายมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการแบ่งระยะของการพยากรณ์ออกเป็น 3 ระยะตามกลุ่มผู้ใช้เทคโนโลยีในสังคมได้แก่

1. การพยากรณ์ระยะใกล้ ซึ่งประกอบไปด้วยกลุ่มผู้ใช้งาน Innovators และ Early Adopters
2. การพยากรณ์ระยะกลาง ซึ่งประกอบไปด้วยกลุ่มผู้ใช้งาน Early Majority
3. การพยากรณ์ระยะไกล ซึ่งประกอบไปด้วยกลุ่มผู้ใช้งาน Late Majority

4.4 การวางตำแหน่งที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

การวิจัยในส่วนของการวางตำแหน่งที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าจะทำการวิจัยในพื้นที่ภูมิภาคตะวันออกของประเทศไทยโดยการเทียบสัดส่วนจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่พยากรณ์ได้กับจำนวนรถยนต์ที่มีใช้อยู่ในภูมิภาคตะวันออกในปัจจุบันเพื่อประมาณการจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่มีใช้ในแต่ละจังหวัดภูมิภาคตะวันออก โดยจำนวนรถที่จดทะเบียนสะสม ณ วันที่ 31 พฤษภาคม 2565 และการเทียบสัดส่วนจำนวนรถยนต์ไฟฟ้ากับจำนวนรถยนต์ที่มีใช้อยู่ในแต่ละจังหวัดแสดงดังภาคผนวก ช จากนั้นทำการเทียบจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่มีใช้ในแต่ละจังหวัดภูมิภาคตะวันออกกับจำนวนประชากรที่อาศัยอยู่ในภูมิภาคตะวันออกในปัจจุบันเพื่อประมาณการจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่มีใช้ในแต่ละอำเภอในจังหวัดภูมิภาคตะวันออกโดยจำนวนประชากรในแต่ละอำเภอในจังหวัดภูมิภาคตะวันออกเทียบสัดส่วนกับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่พยากรณ์ได้แสดงดังภาคผนวก ญ

จากแนวโน้มจำนวนการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยที่ได้จากการพยากรณ์ ทำให้เห็นว่าเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะคงอยู่ในตลาดของประเทศไทยยาวนานถึง 60 ปีนับตั้งแต่มีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยครั้งแรก ดังนั้นงานวิจัยในส่วนนี้จึงทำการแบ่งระยะการวางตำแหน่งที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในภาคตะวันออกของประเทศไทยออกเป็น 3 ระยะตามระยะการพยากรณ์ โดยมีเงื่อนไขการจัดตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละระยะดังนี้

1. การวางตำแหน่งสถานีตามการพยากรณ์ระยะใกล้ มีเงื่อนไขคือ แต่ละอำเภอต้องมีสถานีอยู่ห่างอย่างน้อย 40 กิโลเมตรเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า
2. การวางตำแหน่งสถานีตามการพยากรณ์ระยะกลาง มีเงื่อนไขคือ แต่ละอำเภอต้องมีสถานีอยู่ห่างอย่างน้อย 20 กิโลเมตรเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า
3. การวางตำแหน่งสถานีตามการพยากรณ์ระยะไกล มีเงื่อนไขคือ ทุกอำเภอต้องมีสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าอย่างน้อย 1 สถานีเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า

4.4.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Set Covering Problem

1) กำหนดเป้าหมาย ตัวแปลตัดสินใจ และเงื่อนไข

เป้าหมาย : จำนวนสถานีที่น้อยที่สุด

ตัวแปรตัดสินใจ : X_i แต่ละอำเภอจะตั้งสถานีหรือไม่

โดยที่ Xi = 1 เมื่อ เลือกตั้งสถานีที่อำเภอ i

0 เมื่อ ไม่ตั้งสถานีที่อำเภอ i

เงื่อนไข : 1. แต่ละอำเภอต้องมี 1 สถานีให้ไปเติมพลังงาน

2. แต่ละอำเภอต้องมีสถานีอยู่ห่างอย่างน้อยตามระยะทางที่กำหนด

สมการเป้าหมาย : $\text{Min } Z = X_1 + X_2 + X_3 + \ldots + X_i$

สมการเงื่อนไข :

1. $X11+X12+X13+\ldots+X1j \geq 1$

$X21+X22+X23+\ldots+X2j \geq 1$

$X31+X32+X33+\ldots+X3j \geq 1$

.

.

.

$Xi1+Xi2+Xi3+\ldots+Xij \geq 1$

$i,j \in \{1,2,3,\ldots,63\}$

$Xi \in \text{integer}$

$Xi \in \{0,1\}$

มหาวิทยาลัยศิลปากร

4.4.2 การหาคำตอบโดยใช้ Excel Solver

1) สร้างตารางระบุระยะทางระหว่างแต่ละอำเภอในภูมิภาคตะวันออก

จังหวัด		จันทบุรี									
	อำเภอ	เมืองจันทบุรี	ท่าใหม่	มะขาม	ขลุง	เขาคิชฌกูฏ	แหลมสิงห์	นายายอาม	โป่งน้ำร้อน	สอยดาว	แก่งหางแมว
จันทบุรี	เมืองจันทบุรี	0	29.1	23.5	39.2	28.2	25.3	42.2	59.5	84.7	87.5
	ท่าใหม่	29.1	0	48.1	62.7	28.6	53.4	17.4	82.1	107	69.2
	มะขาม	23.5	48.1	0	38.5	35.7	43.9	56.9	41.5	66.7	88.2
	ขลุง	39.2	62.7	38.5	0	55.8	31.9	74.7	67.1	92.3	126
	เขาคิชฌกูฏ	28.2	28.6	35.7	55.8	0	53.2	56.1	54.9	80	70.2
	แหลมสิงห์	25.3	53.4	43.9	31.9	53.2	0	54.9	77.4	103	112
	นายายอาม	42.2	17.4	56.9	74.7	56.1	54.9	0	93.5	119	60.6
	โป่งน้ำร้อน	59.5	82.1	41.5	67.1	54.9	77.4	93.5	0	68.6	156
	สอยดาว	84.7	107	66.7	92.3	80	103	119	68.6	0	170
	แก่งหางแมว	87.5	69.2	88.2	126	70.2	112	60.6	156	170	0

ภาพที่ 4.14 ตัวอย่างระยะทางระหว่างอำเภอของจังหวัดจันทบุรี

2) สร้างตารางตัวแปรตัดสินใจตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าและใช้ฟังก์ชัน IF เพื่อกำหนดเงื่อนไข ตัวอย่างเช่น ถ้าระยะห่างระหว่างอำเภอน้อยกว่า 40 รถยนต์ไฟฟ้าในอำเภอนั้นสามารถไปเติมพลังงานได้ จะแสดงค่าเป็น 1 และถ้าระยะห่างระหว่างอำเภอมากกว่า 40 รถยนต์ไฟฟ้าในอำเภอนั้นจะไม่สามารถไปเติมพลังงานได้ จะแสดงค่าเป็น 0

คำสั่งที่ใช้งานของโจทย์นี้ = IF(ระยะห่างระหว่างอำเภอ≤40,1,0)

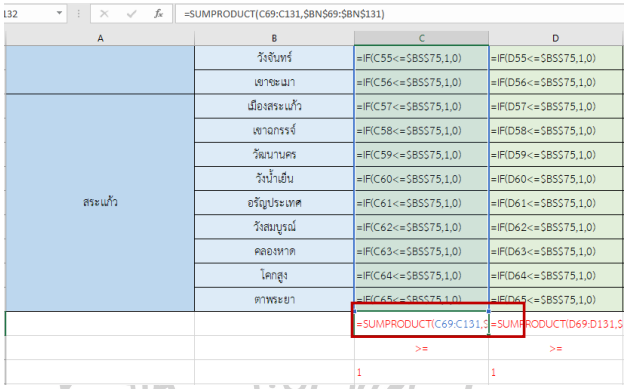
69 | =IF(C3<=BS75,1,0)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	จังหวัด		จันทบุรี									
2		อำเภอ	เมืองจันทบุรี	ท่าใหม่	มะขาม	ขลุง	เขาคิชฌกูฏ	แหลมสิงห์	นายายอาม	โป่งน้ำร้อน	สอยดาว	แก่งหางแมว
3	จันทบุรี	เมืองจันทบุรี	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
4		ท่าใหม่	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0
5		มะขาม	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
6		ขลุง	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0
7		เขาคิชฌกูฏ	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
8		แหลมสิงห์	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
9		นายายอาม	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
10		โป่งน้ำร้อน	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
11		สอยดาว	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
12		แก่งหางแมว	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

ภาพที่ 4.15 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง IF ของโปรแกรม Excel

3) กำหนดเงื่อนไขของโจทย์ตามเงื่อนไขที่ 1 สามารถกำหนดเงื่อนไขได้โดยการใช้ฟังก์ชันผลรวมของผลคูณของ ซึ่งตามสมการเงื่อนไงในข้อ 1) สามารถใช้คำสั่ง SUMPRODUCT เพื่อกำหนดเงื่อนไขดังนี้

= SUMPRODUCT(X11,X12,X13,...,X1j:X1,X2,X3,...,X63) ≥ 1 ซึ่งหมายถึง แต่ละอำเภอต้องมีอย่างน้อง 1 สถานีให้ไปเติมพลังงาน



ภาพที่ 4.16 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง SUMPRODUCT เพื่อกำหนดเงื่อนไขของโจทย์

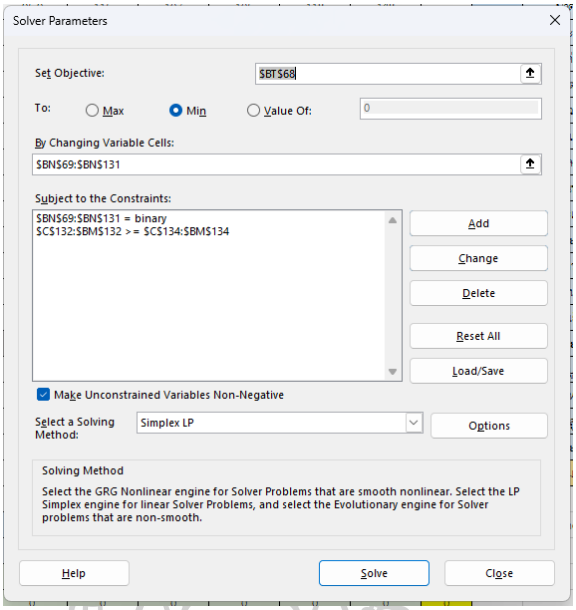
การตัดสินใจตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

จังหวัด		จันทบุรี										ฉะเชิงเทรา												Xi
	อำเภอ	เมืองจันทบุรี	ท่าใหม่	มะขาม	ขลุง	เขาคิชฌกูฏ	แหลมสิงห์	นายายอาม	โป่งน้ำร้อน	สอยดาว	แก่งหางแมว	เมืองฉะเชิงเทรา	บ้านโพธิ์	คลองเขื่อน	บางน้ำเปรี้ยว	บางปะกง	บางคล้า	พนมสารคาม	ท่าตะเกียบ	แปลงยาว	สนามชัยเขต	ราชสาส์น		
จันทบุรี	เมืองจันทบุรี	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1
	ท่าใหม่	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
	มะขาม	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
	ขลุง	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
	เขาคิชฌกูฏ	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
	แหลมสิงห์	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
	นายายอาม	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
	โป่งน้ำร้อน	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1
	สอยดาว	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1
	แก่งหางแมว	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1
ฉะเชิงเทรา	เมืองฉะเชิงเทรา	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0		0
	บ้านโพธิ์	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0		0
	คลองเขื่อน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1		1
	บางน้ำเปรี้ยว	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0		0
	บางปะกง	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0		0
	บางคล้า	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1		0
	พนมสารคาม	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1		1
	ท่าตะเกียบ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0		1
	แปลงยาว	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0		0
	สนามชัยเขต	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1		0
	ราชสาส์น	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1		0
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	3	1	2	2	2		
		>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=		
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

ตารางเมตริก 0,1 สำหรับการเลือกตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

ความต้องการสถานีของแต่ละอำเภอ

ภาพที่ 4.17 ตัวอย่างข้อมูลและสมการที่ใช้ในโปรแกรมคำนวณ



ภาพที่ 4.18 สมการเป้าหมายและสมการข้อจำกัดในโปรแกรมคำนวณ

เมื่อสร้างตารางและลงข้อมูลทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว หากต้องการหาคำตอบโดยใช้ Excel Solver ให้ไปที่ Data > Solver เมื่อเลือกข้อมูลและสมการต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ให้โปรแกรมคำนวณผลลัพธ์โดยการคลิกที่ Solve จากนั้นโปรแกรมจะคำนวนผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจลงในตารางเมตริก 0,1 ตามภาพที่ 4.17 ซึ่งการหาคำตอบในครั้งนี้จะทำให้ทราบว่าควรเลือกตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่อำเภอใจจึงจะครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดได้

4.4.3 ผลการหาคำตอบโดยใช้ Excel Solver ของปัญหาการวางตำแหน่งที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

จากการหาคำตอบของปัญหาการระบุตำแหน่งที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าให้คลอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าได้อย่างทั่วถึงในจำนวนสถานีที่น้อยที่สุดด้วยโปรแกรม Excel Solver จะทำให้ทราบว่าจำนวนสถานีที่น้อยที่สุดที่ทำให้ครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าได้อย่างทั่วถึงเป็นเท่าใด ตัวอย่างเช่น จำนวนสถานีที่น้อยที่สุดที่ทำให้ครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าได้อย่างทั่วถึงในการพยากรณ์ระยะใกล้เท่ากับ 26 สถานี

4.4.4 การแก้ปัญหาให้สถานีชาร์จครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด

หลังจากทราบจำนวนและที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่คลอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าได้อย่างทั่วถึงในจำนวนสถานีที่น้อยที่สุดแล้ว จากนั้นนำคำตอบที่ได้ไปแก้ปัญหาตามหัวข้อที่ 3.5, b. เพื่อทำให้จำนวนสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่

น้อยที่สุด ครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด โดยการหาผลรวมของผลคูณของสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้ากับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละอำเภอ ดังนี้

1) เปลี่ยนสมการเป้าหมาย

เป้าหมาย : สถานีต้องครอบคลุมผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด

สมการเป้าหาย : Max Z = Xi × จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในอำเภอ i

คำสั่งที่ใช้งานของโจทย์นี้ = SUMPRODUCT(Xi:จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในอำเภอ i)

2) เพิ่มเงื่อนไขของปัญหา

เงื่อนไขเพิ่มเติม : จำนวนสถานีต้องน้อยที่สุดตามผลลัพธ์ที่หาได้ในหัวข้อ 4.4.3

สมการเงื่อนไข : Min Z = จำนวนสถานีตามผลลัพธ์ในหัวข้อ 4.4.3

เมื่อเปลี่ยนสมการเป้าหมายและกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติมแล้วให้ทำการแก้ปัญหาเหมือนกับข้อ 4.4.2 อีกครั้ง ซึ่งคำตอบที่ได้จะเป็นที่ตั้งสถานีชาร์จที่คลอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าได้อย่างทั่วถึงและครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด

4.4.5 การวางตำแหน่งที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในการพยากรณ์ระยะใกล้

จากแนวโน้มการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในภาคตะวันออกของประเทศไทยจะเห็นได้ว่าจำนวนการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในอันตราส่วนที่น้อยมากในระยะแรก อย่างไรก็ตามแม้ว่าจำนวนการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในภาคตะวันออกของประเทศไทยเพิ่มขึ้นไม่มากนักในช่วงนี้ แต่ก็ต้องมีสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานรองรับความต้องการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าของผู้บริโภคในพื้นที่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกำหนดให้ในการวางตำแหน่งสถานีตามการพยากรณ์ระยะใกล้ แต่ละอำเภอต้องมีสถานีอยู่ห่างอย่างน้อย 40 กิโลเมตรเพื่อรองรับการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าของผู้บริโภคในพื้นที่เป็นการเบื้องต้น ซึ่งจากการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุด 2 ครั้งตามหัวข้อที่ 4.4.2 – 4.4.4 ทำให้สามารถระบุที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่คลอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าได้อย่างทั่วถึงและครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าให้ได้มากที่สุดในระยะใกล้ ซึ่งตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุดเป็นไปตามตารางที่ 4.6 ซึ่งต้องตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า 26 แห่งใน 26 อำเภอจึงจะครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมดในภาคตะวันออกซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 83,015 คันในการพยากรณ์ระยะใกล้

ตารางที่ 4.6 อำเภอที่เลือกตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานฯ ในการพยากรณ์ระยะใกล้

สถานี	อำเภอ	จังหวัด
1	เมืองจันทบุรี	จันทบุรี
2	โป่งน้ำร้อน	จันทบุรี
3	สอยดาว	จันทบุรี
4	แก่งหางแมว	จันทบุรี
5	คลองเขื่อน	ฉะเชิงเทรา
6	ท่าตะเกียบ	ฉะเชิงเทรา
7	พนมสารคาม	ฉะเชิงเทรา
8	เมืองชลบุรี	ชลบุรี
9	บ้านบึง	ชลบุรี
10	พนัสนิคม	ชลบุรี
11	บางละมุง	ชลบุรี
12	บ่อทอง	ชลบุรี
13	สัตหีบ	ชลบุรี
14	แหลมงอบ	ตราด
15	บ่อไร่	ตราด
16	คลองใหญ่	ตราด
17	ศรีมหาโพธิ	ปราจีนบุรี
18	นาดี	ปราจีนบุรี
19	บ้านค่าย	ระยอง
20	แกลง	ระยอง
21	เขาฉกรรจ์	สระแก้ว
22	วัฒนานคร	สระแก้ว
23	วังน้ำเย็น	สระแก้ว
24	อรัญประเทศ	สระแก้ว
25	โคกสูง	สระแก้ว
26	ตาพระยา	สระแก้ว

4.4.6 การวางตำแหน่งที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในการพยากรณ์ระยะกลาง

จากแนวโน้มการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในภาคตะวันออกของประเทศไทยในระยะกลางจะเห็นได้ว่ามีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นกว่าระยะแรกอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกำหนดให้ในการวางตำแหน่งสถานีตามการพยากรณ์ระยะกลาง แต่ละอำเภอต้องมีสถานีอยู่ห่างอย่างน้อย 20 กิโลเมตรเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นให้ได้อย่างทั่วถึงและสะดวกสะบายมากขึ้น ซึ่งจากการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุด 2 ครั้งตามหัวข้อที่ 4.4.2 – 4.4.4 ทำให้สามารถระบุที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่คลอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าได้อย่างทั่วถึงและครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าให้ได้มากที่สุดในการพยากรณ์ระยะกลาง ซึ่งตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุดเป็นไปตามตารางที่ 4.7 ซึ่งต้องตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า 56 แห่งใน 56 อำเภอจึงจะครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมดในภาคตะวันออกซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 252,321 คันในการพยากรณ์ระยะกลาง

ตารางที่ 4.7 อำเภอที่เลือกตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานฯ ในการพยากรณ์ระยะกลาง

สถานี	อำเภอ	จังหวัด
1	เมืองจันทบุรี	จันทบุรี
2	ท่าใหม่	จันทบุรี
3	มะขาม	จันทบุรี
4	ขลุง	จันทบุรี
5	เขาคิชฌกูฏ	จันทบุรี
6	แหลมสิงห์	จันทบุรี
7	โป่งน้ำร้อน	จันทบุรี
8	สอยดาว	จันทบุรี
9	แก่งหางแมว	จันทบุรี
10	บ้านโพธิ์	ฉะเชิงเทรา
11	คลองเขื่อน	ฉะเชิงเทรา
12	บางน้ำเปรี้ยว	ฉะเชิงเทรา
13	บางปะกง	ฉะเชิงเทรา
14	พนมสารคาม	ฉะเชิงเทรา

สถานี	อำเภอ	จังหวัด
15	ท่าตะเกียบ	ฉะเชิงเทรา
16	แปลงยาว	ฉะเชิงเทรา
17	เมืองชลบุรี	ชลบุรี
18	บ้านบึง	ชลบุรี
19	พนัสนิคม	ชลบุรี
20	ศรีราชา	ชลบุรี
21	พานทอง	ชลบุรี
22	บางละมุง	ชลบุรี
23	เกาะจันทร์	ชลบุรี
24	หนองใหญ่	ชลบุรี
25	บ่อทอง	ชลบุรี
26	สัตหีบ	ชลบุรี
27	เมืองตราด	ตราด
28	เขาสมิง	ตราด
29	แหลมงอบ	ตราด
30	เกาะช้าง	ตราด
31	บ่อไร่	ตราด
32	คลองใหญ่	ตราด
33	เมืองปราจีนบุรี	ปราจีนบุรี
34	บ้านสร้าง	ปราจีนบุรี
35	ศรีมโหสถ	ปราจีนบุรี
36	ศรีมหาโพธิ	ปราจีนบุรี
37	ประจันตคาม	ปราจีนบุรี
38	กบินทร์บุรี	ปราจีนบุรี
39	นาดี	ปราจีนบุรี
40	เมืองระยอง	ระยอง
41	บ้านค่าย	ระยอง
42	นิคมพัฒนา	ระยอง
43	บ้านฉาง	ระยอง

สถานี	อำเภอ	จังหวัด
44	ปลวกแดง	ระยอง
45	แกลง	ระยอง
46	วังจันทร์	ระยอง
47	เขาชะเมา	ระยอง
48	เมืองสระแก้ว	สระแก้ว
49	เขาฉกรรจ์	สระแก้ว
50	วัฒนานคร	สระแก้ว
51	วังน้ำเย็น	สระแก้ว
52	อรัญประเทศ	สระแก้ว
53	วังสมบูรณ์	สระแก้ว
54	คลองหาด	สระแก้ว
55	โคกสูง	สระแก้ว
56	ตาพระยา	สระแก้ว

4.4.6 การวางตำแหน่งที่ตั้งสถานีชาร์จในระยะที่ 3

จากแนวโน้มการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในภาคตะวันออกของประเทศไทยในระยะไกลจะเห็นได้ว่ามีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากซึ่งคิดเป็นอันตราส่วน 84% ของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยในอนาคต ด้วยจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่มีจำนวนมากขึ้นทำให้ความต้องการใช้งานสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานมีมากยิ่งขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกำหนดให้ในการวางตำแหน่งสถานีตามการพยากรณ์ระยะไกล ทุกอำเภอต้องมีสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าอย่างน้อย 1 สถานีเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งจากการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุด 2 ครั้งตามหัวข้อที่ 4.4.2 – 4.4.4 ทำให้ทราบว่าหากตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า 63 แห่งใน 63 อำเภอจะทำให้รอบคลุมความต้องการของผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมดในภาคตะวันออกซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 430,300 คันในการพยากรณ์ระยะไกล

ตารางที่ 4.8 สถานีในอำเภอในภูมิภาคตะวันออกของประเทศไทย

สถานี	อำเภอ	จังหวัด
1	เมืองจันทบุรี	จันทบุรี
2	ท่าใหม่	จันทบุรี
3	มะขาม	จันทบุรี
4	ขลุง	จันทบุรี
5	เขาคิชฌกูฏ	จันทบุรี
6	แหลมสิงห์	จันทบุรี
7	นายายอาม	จันทบุรี
8	โป่งน้ำร้อน	จันทบุรี
9	สอยดาว	จันทบุรี
10	แก่งหางแมว	จันทบุรี
11	เมืองฉะเชิงเทรา	ฉะเชิงเทรา
12	บ้านโพธิ์	ฉะเชิงเทรา
13	คลองเขื่อน	ฉะเชิงเทรา
14	บางน้ำเปรี้ยว	ฉะเชิงเทรา
15	บางปะกง	ฉะเชิงเทรา
16	บางคล้า	ฉะเชิงเทรา
17	พนมสารคาม	ฉะเชิงเทรา
18	ท่าตะเกียบ	ฉะเชิงเทรา
19	แปลงยาว	ฉะเชิงเทรา
20	สนามชัยเขต	ฉะเชิงเทรา
21	ราชสาส์น	ฉะเชิงเทรา
22	เมืองชลบุรี	ชลบุรี
23	บ้านบึง	ชลบุรี
24	พนัสนิคม	ชลบุรี
25	ศรีราชา	ชลบุรี

สถานี	อำเภอ	จังหวัด
26	พานทอง	ชลบุรี
27	เกาะสีชัง	ชลบุรี
28	บางละมุง	ชลบุรี
29	เกาะจันทร์	ชลบุรี
30	หนองใหญ่	ชลบุรี
31	บ่อทอง	ชลบุรี
32	สัตหีบ	ชลบุรี
33	เมืองตราด	ตราด
34	เขาสมิง	ตราด
35	แหลมงอบ	ตราด
36	เกาะช้าง	ตราด
37	บ่อไร่	ตราด
38	คลองใหญ่	ตราด
39	เกาะกูด	ตราด
40	เมืองปราจีนบุรี	ปราจีนบุรี
41	บ้านสร้าง	ปราจีนบุรี
42	ศรีมโหสถ	ปราจีนบุรี
43	ศรีมหาโพธิ	ปราจีนบุรี
44	ประจันตคาม	ปราจีนบุรี
45	กบินทร์บุรี	ปราจีนบุรี
46	นาดี	ปราจีนบุรี
47	เมืองระยอง	ระยอง
48	บ้านค่าย	ระยอง
49	นิคมพัฒนา	ระยอง
50	บ้านฉาง	ระยอง

สถานี	อำเภอ	จังหวัด
51	ปลวกแดง	ระยอง
52	แกลง	ระยอง
53	วังจันทร์	ระยอง
54	เขาชะเมา	ระยอง
55	เมืองสระแก้ว	สระแก้ว
56	เขาฉกรรจ์	สระแก้ว
57	วัฒนานคร	สระแก้ว
58	วังน้ำเย็น	สระแก้ว
59	อรัญประเทศ	สระแก้ว
60	วังสมบูรณ์	สระแก้ว
61	คลองหาด	สระแก้ว
62	โคกสูง	สระแก้ว
63	ตาพระยา	สระแก้ว

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ

การใช้งานเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น แต่ยังไม่มีโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวกที่สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตได้อย่างเพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยโดยใช้ของมูลในอดีต และนำข้อมูลที่ได้เป็นแนวทางในการจัดสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อรองรับการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าได้ทันท่วงที ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการดำเนินงานทั้งในส่วนของการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย และแนวทางในการจัดสร้างสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าในภูมิภาคตะวันออกซึ่งเป็นภาคเศรษฐกิจใหญ่ของประเทศไทย

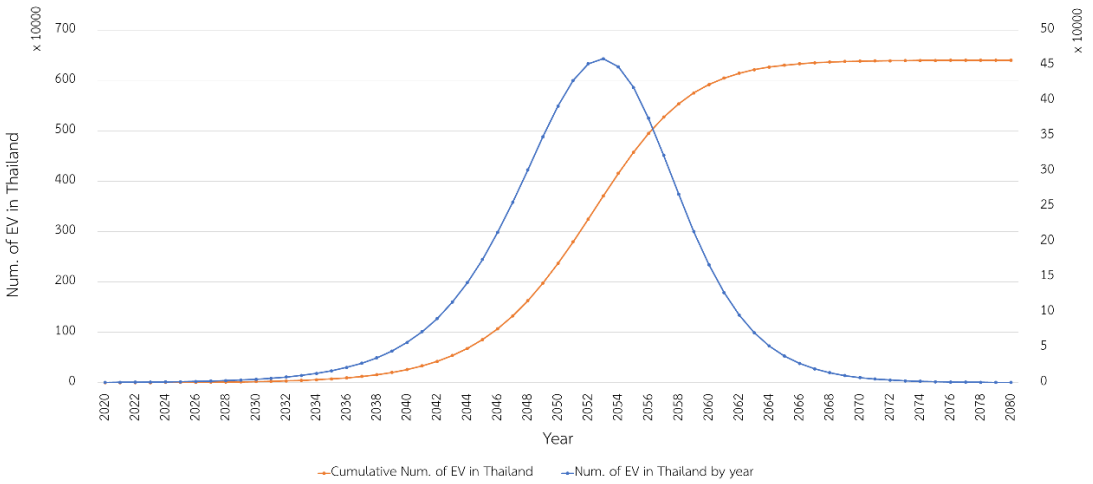
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ได้แก่การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย และการระบุที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าให้ครอบคุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าให้ทั่วถึงและมากที่สุด

5.1.1 การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์สิทธิบัตร (Patent Analysis) และวิธีการวิเคราะห์บรรณมิติ (Bibliometric Analysis) เพื่อใช้ในการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยด้วยแบบจำลองการแพร่กระจายของเบส (Bass diffusion model) ซึ่งจากการวิจัยได้ผลดังต่อไปนี้

แนวโน้มที่ได้จากการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยด้วยจำนวนวารสารวิชาการมีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมกว่าแนวโน้มที่ได้จากการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยด้วยจำนวนสิทธิบัตร ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แนวโน้มการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทยที่พยากรณ์ด้วยจำนวนวารสารวิชาการในการวิเคราะห์เพื่อคำนวนหาจำนวนสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย



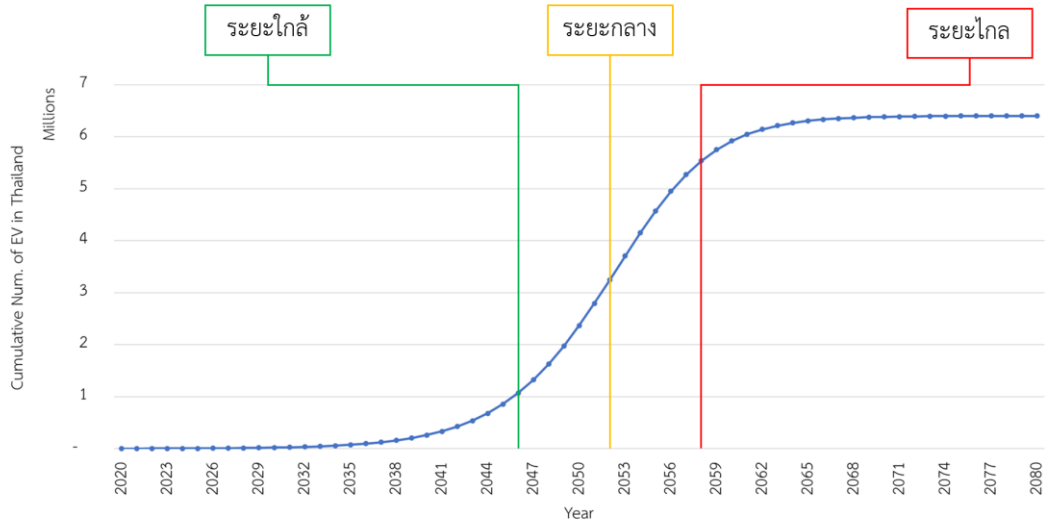
ภาพที่ 5.19 แนวโน้มการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในไทยที่พยากรณ์จากจำนวนวารสารวิชาการ และการแพร่กระจายของเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในไทย

เมื่อนำผลการพยากรณ์มาแสดงในรูปของกราฟการแพร่กระจายของเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย ดังภาพที่ 5.1 จะเห็นได้ว่า การกระจายตัวของการแพร่กระจายทางเทคโนโลยีเป็นไปตามทฤษฎีการแพร่กระจายของเทคโนโลยี (Diffusion of Innovation) ของ เอเวอร์เร็ท รอเจอร์ [25] โดยสามารถแบ่งกลุ่มผู้ใช้เทคโนโลยีออกเป็น 5 กลุ่มได้ดังนี้

1) Innovators มีสัดส่วน 2.5% ของกลุ่มประชากร ดังนั้นการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าของกลุ่มคนนี้จึงมีจำนวนเท่ากับ 159,066 คัน โดยจะอยู่ในช่วงปี ค.ศ. 2020 – 2038
2) Early Adopters มีสัดส่วน 13.5% ของกลุ่มประชากร ดังนั้นการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าของกลุ่มคนนี้จึงมีจำนวนเท่ากับ 909,207 คัน โดยจะอยู่ในช่วงปี ค.ศ. 2038 – 2046
3) Early Majority มีสัดส่วน 34% ของกลุ่มประชากร ดังนั้นการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าของกลุ่มคนนี้จึงมีจำนวนเท่ากับ 2,391,737 คัน โดยจะอยู่ในช่วงปี ค.ศ. 2046 – 2052
4) Late Majority มีสัดส่วน 34% ของกลุ่มประชากร ดังนั้นการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าของกลุ่มคนนี้จึงมีจำนวนเท่ากับ 2,290,316 คัน โดยจะอยู่ในช่วงปี ค.ศ. 2052 – 2058
5) Laggards มีสัดส่วน 16% ของกลุ่มประชากร ดังนั้นการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าของกลุ่มคนนี้จึงมีจำนวนเท่ากับ 862,092 คัน โดยจะอยู่ในช่วงปี ค.ศ. 2058 - 2080

ตารางที่ 5.9 สัดส่วนการยอมรับเทคโนโลยีของกลุ่มคนในสังคม

กลุ่มผู้ใช้งาน	ปีที่	สัดส่วนของตลาดทั้งหมดในไทย	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลสะสม (คัน)	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคล (คัน)
Innovators	0 – 18	2.5%	159,066	159,066
Early Adopters	18 – 26	13.5%	1,068,273	909,207
Early Majority	26 – 32	34%	3,246,976	2,391,737
Late Majority	32 – 38	34%	5,537,292	2,290,316
Laggards	38 – 60	16%	6,399,383	862,092



ภาพที่ 5.20 ระยะการเพิ่มขึ้นของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย

การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยในงานวิจัยนี้ได้แบ่งระยะของการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าออกเป็น 3 ระยะตามภาพที่ 5.3 ได้แก่

1. การพยากรณ์ระยะใกล้ คือในช่วงปี ค.ศ. 2020 – 2046 ซึ่งจะมีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยจำนวน 1,068,273 คัน คิดเป็น 16% ของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยในอนาคต ซึ่งในระยะนี้เหมาะแก่การจัดเตรียมส่งอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งจ่ายพลังงานให้กับรถยนต์ไฟฟ้า ต้องมี

อย่างเพียงพอเพื่อให้ผู้ใช้งานเชื่อมั่นและมีความพึงพอใจในการใช้งานเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าต่อไป

2. การพยากรณ์ระยะกลาง คือในช่วงปี ค.ศ. 2046 – 2052 ในระยะนี้จะมีผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในอันตราส่วนที่มากที่สุดซึ่งจะมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมเท่ากับ 3,246,976 คัน คิดเป็นอันตราส่วน 50% ของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยในอนาคต ในช่วงนี้รถยนต์ไฟฟ้าจะเข้ามาแทนที่รถยนต์เชื้อเพลิงในปริมาณครึ่งต่อครึ่ง ทำให้ปริมาณความต้องการแหล่งจ่ายพลังงานให้กับรถยนต์ไฟฟ้ามากขึ้น ด้วยปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ทำให้ในระยะนี้หากมีการจัดตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าให้ทั่วถึงและครอบคลุมผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าก็จะทำให้สามารถผลการลงทุนกับสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้ามีประสิทธิผลเป็นอย่างมาก
3. การพยากรณ์ระยะไกล คือในช่วงปี ค.ศ. 2052 – 2058 ในระยะนี้จะมีผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในอันตราส่วนเท่ากับอันตราส่วนการเพิ่มขึ้นของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในระยะที่ 2 ซึ่งจะมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมเท่ากับ 5,412,857 คัน คิดเป็นอันตราส่วน 84% ของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยในอนาคต และหลังจากปีที่ 38 จะเหลือกลุ่มผู้ใช้งานเพียง 16% ของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยในอนาคตเท่านั้น แสดงให้เห็นว่าแม้ว่าการลงทุนกับสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในช่วงนี้จะยังเป็นการลงทุนที่น่าสนใจอยู่ แต่ก็มีความเสี่ยงอยู่เช่นกัน

ดังนั้นการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยแสดงให้เห็นถึงระยะต่าง ๆ ของการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อให้แนวคิดในแง่ของกรอบเวลาแก่ภาครัฐและเอกชนในการตัดสินใจลงทุนในการจัดเตรียมสิ่งอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาโดยเฉพาะอย่างยิ่งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า ภาครัฐควรวางแผนและดำเนินการตามบทบาทของตนเพื่อรองรับจำนวนผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลและส่งเสริมให้ประชาชนหันมาใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก และภาคเอกชนควรลงทุนในธุรกิจใหม่ ๆ ที่เกี่ยวข้องกับรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต

5.1.2 การระบุที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

งานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองการปกคลุมเซต (Set Covering Problem) เพื่อระบุที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าให้ครอบคุมความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าให้ทั่วถึงและมากที่สุด และทำการวิจัยเฉพาะในพื้นที่ภูมิภาคตะวันออกของประเทศไทย เนื่องจากภาคตะวันออกของประเทศไทยเป็นภาคเศรษฐกิจใหญ่ของประเทศไทยและเป็นภาคที่มีรายได้จากการท่องเที่ยวสูงเป็นอันดับ 3 รองจาก กรุงเทพมหานครฯ และ ภาคใต้ของประเทศไทย โดยทำการระบุตำแหน่งในระดับอำเภอ

จากการนำสัดส่วนและจำนวนการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยมาเทียบกับสัดส่วนและจำนวนรถจดทะเบียนในภาคตะวันออกของประเทศไทยในปัจจุบันจะทำให้เห็นถึงจำนวนการยอมรับของเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าของกลุ่มคนในสังคมในภาคตะวันออกของประเทศไทยได้ดังตารางที่ 5.10 สัดส่วนการยอมรับเทคโนโลยีของกลุ่มคนในสังคมในภาคตะวันออกของไทย

ระยะการยอมรับเทคโนโลยี	ปีที่	สัดส่วนของตลาดในภาคตะวันออก	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลสะสม (คัน)	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคล (คัน)
ระยะใกล้	0 - 26	16%	83,015	83,015
ระยะกลาง	26 - 32	34%	252,321	169,306
ระยะไกล	32 – 38	34%	430,300	177,979

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการระบุที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าออกเป็น 3 ระยะตามระยะของการพยากรณ์เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าโดยแต่ละระยะมีรายละเอียดดังนี้

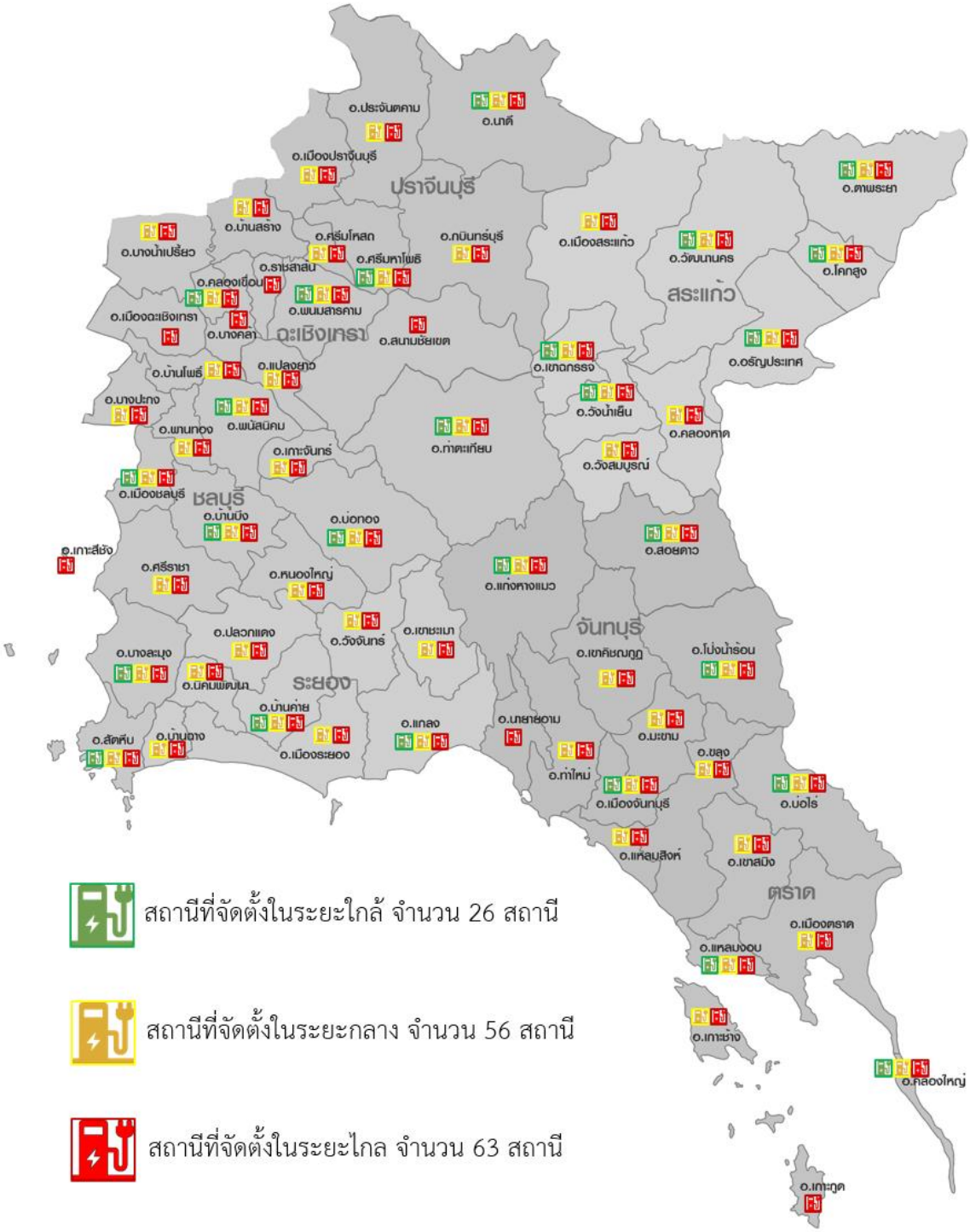
1. การระบุที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในการพยากรณ์ระยะใกล้ กำหนดให้แต่ละอำเภอต้องมีสถานีอยู่ห่างอย่างน้อย 40 กิโลเมตร ดังนั้นจึงต้องจัดตั้งสถานีทั้งหมด 26 แห่งใน 26 อำเภอดังตารางที่ 4.6 จึงจะครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดซึ่งครอบคุมผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าได้ 83,015 คันในระยะใกล้ และจากอัตราการให้บริการของหัวจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าต้องมีหัวจ่ายพลังงานทั้งหมด 3,459 หัวจ่าย จึงจะเพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในระยะใกล้

2. การระบุที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในการพยากรณ์ระยะกลาง กำหนดให้แต่ละอำเภอต้องมีสถานีอยู่ห่างอย่างน้อย 20 กิโลเมตร ดังนั้นต้องจัดตั้งสถานีทั้งหมด 56 แห่งใน 56 อำเภอดังตารางที่ 4.7 จึงจะทำให้สามารถครอบคลุมจำนวนผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด 252,321 คันในระยะกลาง และจากอัตราการให้บริการของหัวจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าต้องมีหัวจ่ายพลังงานทั้งหมด 10,514 หัวจ่าย จึงจะเพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในระยะใกล้

3. การระบุที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในการพยากรณ์ระยะไกล กำหนดให้ต้องจัดตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในทุกอำเภอในภูมิภาคตะวันออกของประเทศไทย ดังนั้นจึงต้องจัดตั้งสถานีทั้งหมด 63 แห่งใน 63 อำเภอดังตารางที่ 4.8 จึงจะทำให้สามารถครอบคลุมจำนวนผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด 430,300 คันในระยะไกล และจากอัตราการให้บริการของหัวจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า ต้องมีหัวจ่ายพลังงานทั้งหมด 17,930 หัวจ่าย จึงจะเพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในระยะใกล้

ตารางที่ 5.11 ภาพรวมการตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานฯ ในแต่ละระยะของการพยากรณ์

การตั้งสถานี	จำนวนสถานี	ข้อกำหนด	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสม	จำนวนหัวจ่าย
ระยะใกล้	26	มีสถานีอยู่ห่างอย่างน้อย 40 กิโลเมตร	83,015	3,459
ระยะกลาง	56	มีสถานีอยู่ห่างอย่างน้อย 20 กิโลเมตร	252,321	10,514
ระยะไกล	63	มีสถานีทุกอำเภอ	430,300	17,930



ภาพที่ 5.21 ตำแหน่งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่จัดตั้งในแต่ละระยะ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การเลือกใช้ค่าขีดจำกัดของตลาด, ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมรับนวัตกรรม (p) และค่าสัมประสิทธิ์ของการเลียนแบบนวัตกรรม (q) ในแบบจำลองการแพร่กระจายของเบสเพื่อพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย เพื่อความแม่นยำในการพยากรณ์ควรเลือกใช้ค่าที่ถูกต้องและเหมาะสม หากเลือกใช้ค่าที่ไม่เหมาะสมหรืออาจทำให้การพยากรณ์คลาดเคลื่อนจนได้

5.2.2 ปัจจัยภายในที่สำคัญที่ทำให้การพยากรณ์มีความแม่นยำก็คือการเลือกใช้แบบจำลองที่เลือกใช้ในการพยากรณ์และค่า R-square (Coefficient of determination) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระทั้งหมดในสมการที่มีต่อตัวแปรตาม [58] ดังนั้นในงานวิจัยควรเลือกใช้แบบจำลองที่เหมาะสมกับเป้าหมายของงานวิจัย เพื่อให้ได้ค่า R-square ที่เชื่อถือได้

5.2.3 ปัจจัยภายนอกมีผลให้การพยากรณ์เกิดความผิดเพียนหรือคลาดเคลื่อนไปได้ เช่น กรณีขององค์การพลังงานระหว่างประเทศ (International Energy Agency) ที่เคยพยากรณ์การใช้พลังงานแสงอาทิตย์พบว่าการพยากรณ์ของพวกเขาล่าช้ากว่าความเป็นจริงถึง 23 เท่าโดยปัจจัยที่ทำให้เกิดความผิดพลาดก็คือองค์ความรู้ของเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นใหม่ [59] ดังนั้นหากในอนาคตมีเทคโนโลยีบางอย่างที่สามารถปรับใช้กับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าได้ หรือมีเทคโนโลยีบางอย่างที่เข้ามาแทนที่เทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า ก็อาจทำให้การพยากรณ์คลาดเคลื่อนไปได้ นอกจากนี้ก็ยังมีปัจจัยอย่าง สภาวะเศษฐกิจ หรือการสนับสนุนจากทุกภาคส่วน ก็อาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความผิดพลาดในการพยากรณ์ก็ได้ ดังนั้นหากหน่วยงานใดต้องการลงทุนในสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า ควรพิจารณาถึงความเสี่ยงต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นด้วย

5.2.4 การระบุตำแหน่งที่ตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าด้วยวิธีการแก้ปัญหาแบบปกคลุมเซตสามารถระบุได้เพียงอำเภอที่มีแนวโน้มความต้องการของผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าที่สูงเท่านั้น ไม่ได้คำนึงถึงปริมาณการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละวัน และการจัดตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าให้มีหัวจ่ายเพียงพอต่อความต้องการที่คาดการณ์ในงานวิจัยจำเป็นต้องศึกษาข้อกฎหมายในการขออนุญาตจัดตั้งสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าและจำนวนหัวจ่ายต่อสถานี

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมที่ใช้งานอยู่ทั่วโลกและในประเทศไทย

ปี	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมที่ใช้งานอยู่ทั่วโลก	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมที่ใช้งานอยู่ในประเทศไทย
2010	-	1
2011	-	10
2012	112,920	17
2013	225,500	30
2014	415,740	36
2015	736,900	50
2016	1,198,370	52
2017	1,945,780	79
2018	3,290,800	136
2019	4,800,000	786
2020	6,800,000	2,053
2021	11,000,000	3,996
2022	-	13,580

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ข

จำนวนสถานีเปลี่ยนถ่ายพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าและจำนวนหัวจ่ายในภูมิภาคตะวันออก

ของประเทศไทยจำแนกตามอำเภอ

จังหวัด	อำเภอ	PTT		MEA		รวม	
		จำนวนสถานี	จำนวนหัวจ่าย	จำนวนสถานี	จำนวนหัวจ่าย	จำนวนสถานี	จำนวนหัวจ่าย
จันทบุรี	เมืองจันทบุรี	1	3	2	4	3	7
	ท่าใหม่	1	3	1	2	2	5
	มะขาม	1	3	2	4	3	7
	ขลุง	0	0	1	2	1	2
	เขาคิชฌกูฏ	0	0	0	0	0	0
	แหลมสิงห์	1	3	0	0	1	3
	นายายอาม	0	0	0	0	0	0
	โป่งน้ำร้อน	0	0	0	0	0	0
	สอยดาว	0	0	0	0	0	0
	แก่งหางแมว	0	0	0	0	0	0
ฉะเชิงเทรา	เมืองฉะเชิงเทรา	0	0	1	2	1	2
	บ้านโพธิ์	0	0	1	3	1	3
	คลองเขื่อน	0	0	0	0	0	0
	บางน้ำเปรี้ยว	0	0	0	0	0	0
	บางปะกง	0	0	1	3	1	3
	บางคล้า	1	3	0	0	1	3
	พนมสารคาม	1	3	0	0	1	3
	ท่าตะเกียบ	0	0	0	0	0	0
	แปลงยาว	0	0	0	0	0	0
	สนามชัยเขต	0	0	0	0	0	0
	ราชสาส์น	0	0	0	0	0	0
ชลบุรี	เมืองชลบุรี	4	12	2	4	6	16
	บ้านบึง	1	3	1	2	2	5
	พนัสนิคม	0	0	0	0	0	0
	ศรีราชา	3	9	7	16	10	25
	พานทอง	2	6	0	0	2	6

จังหวัด	อำเภอ	PTT		MEA		รวม	
		จำนวนสถานี	จำนวนหัวจ่าย	จำนวนสถานี	จำนวนหัวจ่าย	จำนวนสถานี	จำนวนหัวจ่าย
	เกาะสีชัง	0	0	0	0	0	0
	บางละมุง	5	15	7	18	12	33
	เกาะจันทร์	0	0	0	0	0	0
	หนองใหญ่	1	3	0	0	1	3
	บ่อทอง	0	0	0	0	0	0
	สัตหีบ	0	0	1	2	1	2
ตราด	เมืองตราด	2	6	0	0	2	6
	เขาสมิง	0	0	0	0	0	0
	แหลมงอบ	0	0	0	0	0	0
	เกาะช้าง	0	0	0	0	0	0
	บ่อไร่	0	0	0	0	0	0
	คลองใหญ่	0	0	0	0	0	0
	เกาะกูด	0	0	0	0	0	0
ปราจีนบุรี	เมืองปราจีนบุรี	0	0	3	7	3	7
	บ้านสร้าง	0	0	0	0	0	0
	ศรีมโหสถ	0	0	0	0	0	0
	ศรีมหาโพธิ	0	0	0	0	0	0
	ประจันตคาม	0	0	0	0	0	0
	กบินทร์บุรี	0	0	1	2	1	2
	นาดี	0	0	0	0	0	0
ระยอง	เมืองระยอง	0	0	6	16	6	16
	บ้านค่าย	0	0	0	0	0	0
	นิคมพัฒนา	1	1	1	2	2	3
	บ้านฉาง	2	4	1	2	3	6
	ปลวกแดง	0	0	1	2	1	2
	แกลง	0	0	1	4	1	4

จังหวัด	อำเภอ	PTT		MEA		รวม	
		จำนวนสถานี	จำนวนหัวจ่าย	จำนวนสถานี	จำนวนหัวจ่าย	จำนวนสถานี	จำนวนหัวจ่าย
	วังจันทร์	0	0	0	0	0	0
	เขาชะเมา	0	0	0	0	0	0
สระแก้ว	เมืองสระแก้ว	0	0	0	0	0	0
	เขาฉกรรจ์	0	0	0	0	0	0
	วัฒนานคร	0	0	0	0	0	0
	วังน้ำเย็น	0	0	0	0	0	0
	อรัญประเทศ	0	0	0	0	0	0
	วังสมบูรณ์	0	0	0	0	0	0
	คลองหาด	0	0	0	0	0	0
	โคกสูง	0	0	0	0	0	0
	ตาพระยา	0	0	0	0	0	0
รวม		**27**	**77**	**41**	**97**	**68**	**174**

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ค

จำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่ใช้ในงานวิจัย

ปี	จำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคล	จำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลจดทะเบียนสะสม	จำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลจดทะเบียนสะสมย้อนหลัง 1 ปี
2005	2,087	2,087	-
2006	2,109	4,196	2,087
2007	2,208	6,404	4,196
2008	2,548	8,952	6,404
2009	2,705	11,657	8,952
2010	3,882	15,539	11,657
2011	5,694	21,233	15,539
2012	7,981	29,214	21,233
2013	9,548	38,762	29,214
2014	12,695	51,457	38,762
2015	16,351	67,808	51,457
2016	19,375	87,183	67,808
2017	25,786	112,969	87,183
2018	32,959	145,928	112,969
2019	32,044	177,972	145,928
2020	30,885	208,857	177,972
2021	35,420	244,277	208,857
2022	37,393	281,670	244,277

ภาคผนวก ง

จำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลที่ใช้ในงานวิจัย

ปี	จำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคล	จำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลสะสม	จำนวนวารสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลสะสมย้อนหลัง 1 ปี
2000	67	67	0
2001	36	103	67
2002	36	139	103
2003	26	165	139
2004	31	196	165
2005	35	231	196
2006	33	264	231
2007	31	295	264
2008	28	323	295
2009	51	374	323
2010	75	449	374
2011	127	576	449
2012	198	774	576
2013	248	1,022	774
2014	417	1,439	1,022
2015	508	1,947	1,439
2016	655	2,602	1,947
2017	760	3,362	2,602
2018	857	4,219	3,362
2019	1,219	5,438	4,219
2020	1,361	6,799	5,438
2021	1,825	8,624	6,799
2022	2,340	10,964	8,624

ภาคผนวก จ

การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย

โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ p และ q จากการวิเคราะห์จำนวนสิทธิบัตร

ปีที่	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าS(t)	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมN(t)	ร้อยละของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า S(t)/m	ร้อยละของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมN(t)/m
0	13,932	13,932	0.22%	0.22%
1	18,617	32,549	0.29%	0.51%
2	24,845	57,394	0.39%	0.90%
3	33,099	90,494	0.52%	1.41%
4	43,994	134,488	0.69%	2.10%
5	58,296	192,784	0.91%	3.01%
6	76,931	269,715	1.20%	4.21%
7	100,971	370,686	1.58%	5.79%
8	131,571	502,257	2.06%	7.85%
9	169,824	672,080	2.65%	10.50%
10	216,485	888,565	3.38%	13.88%
11	271,535	1,160,101	4.24%	18.13%
12	333,562	1,493,663	5.21%	23.34%
13	399,060	1,892,722	6.24%	29.57%
14	461,925	2,354,648	7.22%	36.79%
15	513,617	2,868,265	8.03%	44.82%
16	544,539	3,412,804	8.51%	53.33%
17	546,786	3,959,590	8.54%	61.87%
18	517,418	4,477,008	8.08%	69.95%
19	460,445	4,937,453	7.19%	77.15%
20	385,884	5,323,338	6.03%	83.18%
21	306,089	5,629,427	4.78%	87.96%
22	231,570	5,860,997	3.62%	91.58%
23	168,594	6,029,591	2.63%	94.21%
24	119,169	6,148,760	1.86%	96.07%
25	82,417	6,231,177	1.29%	97.36%

ปีที่	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าS(t)	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมN(t)	ร้อยละของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า S(t)/m	ร้อยละของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมN(t)/m
26	56,118	6,287,295	0.88%	98.24%
27	37,799	6,325,094	0.59%	98.83%
28	25,272	6,350,366	0.39%	99.22%
29	16,812	6,367,178	0.26%	99.49%
30	11,147	6,378,325	0.17%	99.66%
31	7,374	6,385,699	0.12%	99.78%
32	4,871	6,390,570	0.08%	99.85%
33	3,214	6,393,784	0.05%	99.90%
34	2,120	6,395,904	0.03%	99.94%
35	1,397	6,397,301	0.02%	99.96%
36	921	6,398,222	0.01%	99.97%
37	607	6,398,829	0.01%	99.98%
38	400	6,399,229	0.01%	99.99%
39	263	6,399,492	0.00%	99.99%
40	173	6,399,665	0.00%	99.99%

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ฉ

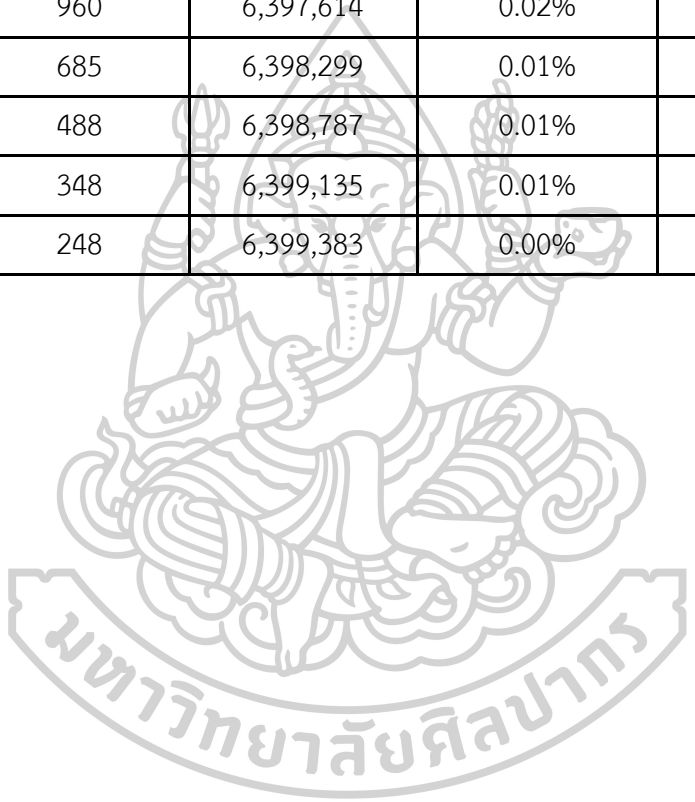
การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย

โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ p และ q จากการวิเคราะห์จำนวนวารสารวิชาการ

ปีที่	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าS(t)	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมN(t)	ร้อยละของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า S(t)/m	ร้อยละของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมN(t)/m
0	388	388	0.01%	0.01%
1	499	888	0.01%	0.01%
2	643	1,530	0.01%	0.02%
3	827	2,358	0.01%	0.04%
4	1,064	3,422	0.02%	0.05%
5	1,370	4,792	0.02%	0.07%
6	1,762	6,554	0.03%	0.10%
7	2,267	8,821	0.04%	0.14%
8	2,916	11,738	0.05%	0.18%
9	3,751	15,488	0.06%	0.24%
10	4,822	20,311	0.08%	0.32%
11	6,199	26,510	0.10%	0.41%
12	7,965	34,474	0.12%	0.54%
13	10,229	44,703	0.16%	0.70%
14	13,128	57,832	0.21%	0.90%
15	16,836	74,667	0.26%	1.17%
16	21,568	96,235	0.34%	1.50%
17	27,592	123,827	0.43%	1.93%
18	35,239	159,066	0.55%	2.49%
19	44,905	203,971	0.70%	3.19%
20	57,062	261,033	0.89%	4.08%
21	72,248	333,281	1.13%	5.21%
22	91,058	424,339	1.42%	6.63%
23	114,097	538,436	1.78%	8.41%
24	141,916	680,351	2.22%	10.63%
25	174,887	855,239	2.73%	13.36%

ปีที่	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าS(t)	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมN(t)	ร้อยละของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า S(t)/m	ร้อยละของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมN(t)/m
26	213,034	1,068,273	3.33%	16.69%
27	255,796	1,324,069	4.00%	20.69%
28	301,761	1,625,830	4.72%	25.40%
29	348,440	1,974,269	5.44%	30.85%
30	392,177	2,366,447	6.13%	36.98%
31	428,377	2,794,824	6.69%	43.67%
32	452,152	3,246,976	7.06%	50.73%
33	459,389	3,706,365	7.18%	57.91%
34	447,960	4,154,325	7.00%	64.91%
35	418,584	4,572,909	6.54%	71.45%
36	374,865	4,947,774	5.86%	77.31%
37	322,371	5,270,145	5.04%	82.35%
38	267,147	5,537,292	4.17%	86.52%
39	214,319	5,751,611	3.35%	89.87%
40	167,310	5,918,921	2.61%	92.48%
41	127,747	6,046,668	2.00%	94.48%
42	95,849	6,142,518	1.50%	95.98%
43	70,955	6,213,473	1.11%	97.09%
44	51,995	6,265,468	0.81%	97.90%
45	37,815	6,303,283	0.59%	98.49%
46	27,350	6,330,633	0.43%	98.92%
47	19,701	6,350,334	0.31%	99.22%
48	14,150	6,364,484	0.22%	99.45%
49	10,141	6,374,624	0.16%	99.60%
50	7,257	6,381,881	0.11%	99.72%
51	5,187	6,387,069	0.08%	99.80%

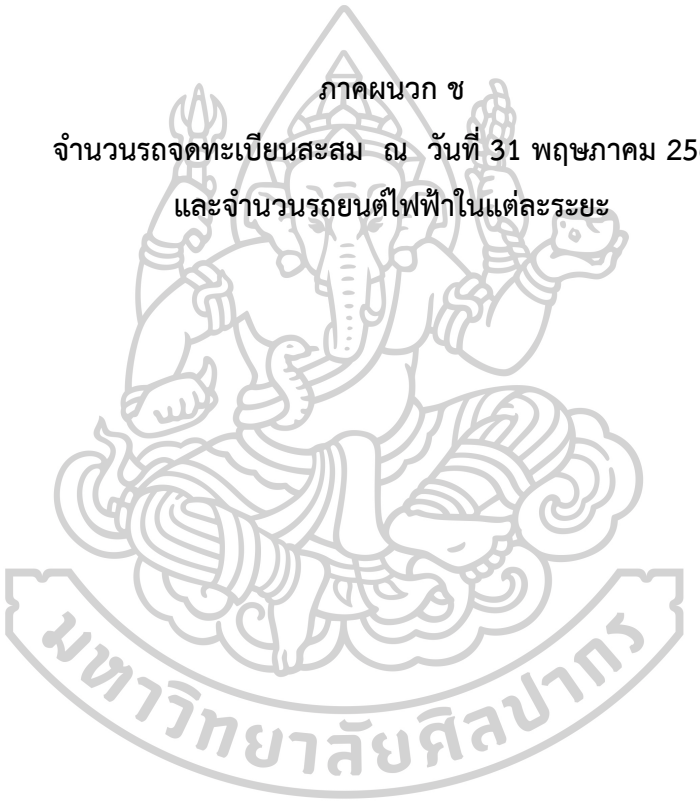
ปีที่	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าS(t)	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมN(t)	ร้อยละของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า S(t)/m	ร้อยละของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมN(t)/m
52	3,705	6,390,774	0.06%	99.86%
53	2,645	6,393,419	0.04%	99.90%
54	1,888	6,395,307	0.03%	99.93%
55	1,347	6,396,653	0.02%	99.95%
56	960	6,397,614	0.02%	99.96%
57	685	6,398,299	0.01%	99.97%
58	488	6,398,787	0.01%	99.98%
59	348	6,399,135	0.01%	99.99%
60	248	6,399,383	0.00%	99.99%



ภาคผนวก ช

จำนวนรถจดทะเบียนสะสม ณ วันที่ 31 พฤษภาคม 2565

และจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละระยะ



จังหวัด	จำนวนรถ	เปอร์เซ็นต์	ระยะใกล้	ระยะกลาง	ระยะไกล
ทั่วประเทศ	11,082,473	100.00%	1,068,273	3,246,976	5,537,292
กรุงเทพมหานคร	5,196,857	46.89%	500,941	1,522,591	2,596,579
กระบี่	62,017	0.56%	5,978	18,170	30,986
กาญจนบุรี	77,326	0.70%	7,454	22,655	38,635
กาฬสินธุ์	50,685	0.46%	4,886	14,850	25,324
กำแพงเพชร	56,614	0.51%	5,457	16,587	28,287
ขอนแก่น	233,957	2.11%	22,552	68,545	116,895
จันทบุรี	83,904	0.76%	8,088	24,582	41,922
ฉะเชิงเทรา	85,314	0.77%	8,224	24,996	42,627
ชลบุรี	373,567	3.37%	36,009	109,449	186,651
ชัยนาท	32,374	0.29%	3,121	9,485	16,175
ชัยภูมิ	50,754	0.46%	4,892	14,870	25,359
ชุมพร	51,445	0.46%	4,959	15,073	25,704
เชียงราย	149,226	1.35%	14,384	43,721	74,560
เชียงใหม่	392,050	3.54%	37,791	114,864	195,885
ตรัง	68,939	0.62%	6,645	20,198	34,445
ตราด	18,049	0.16%	1,740	5,288	9,018
ตาก	34,471	0.31%	3,323	10,099	17,223
นครนายก	29,297	0.26%	2,824	8,584	14,638
นครปฐม	87,472	0.79%	8,432	25,628	43,705
นครพนม	33,117	0.30%	3,192	9,703	16,547
นครราชสีมา	300,507	2.71%	28,967	88,043	150,147
นครศรีธรรมราช	138,079	1.25%	13,310	40,455	68,990
นครสวรรค์	109,938	0.99%	10,597	32,210	54,930

จังหวัด	จำนวนรถ	เปอร์เซ็นต์	ระยะใกล้	ระยะกลาง	ระยะไกล
นนทบุรี	62,353	0.56%	6,010	18,268	31,154
นราธิวาส	28,364	0.26%	2,734	8,310	14,172
น่าน	37,190	0.34%	3,585	10,896	18,582
บึงกาฬ	19,416	0.18%	1,872	5,689	9,701
บุรีรัมย์	69,615	0.63%	6,710	20,396	34,783
ปทุมธานี	34,977	0.32%	3,372	10,248	17,476
ประจวบคีรีขันธ์	54,652	0.49%	5,268	16,012	27,307
ปราจีนบุรี	56,833	0.51%	5,478	16,651	28,396
ปัตตานี	34,096	0.31%	3,287	9,990	17,036
พระนครศรีอยุธยา	122,935	1.11%	11,850	36,018	61,424
พะเยา	44,570	0.40%	4,296	13,058	22,269
พังงา	18,060	0.16%	1,741	5,291	9,024
พัทลุง	46,753	0.42%	4,507	13,698	23,360
พิจิตร	35,929	0.32%	3,463	10,527	17,952
พิษณุโลก	129,339	1.17%	12,467	37,894	64,623
เพชรบุรี	69,406	0.63%	6,690	20,335	34,678
เพชรบูรณ์	62,172	0.56%	5,993	18,215	31,064
แพร่	46,061	0.42%	4,440	13,495	23,014
ภูเก็ต	128,218	1.16%	12,359	37,566	64,063
มหาสารคราม	54,804	0.49%	5,283	16,057	27,382
มุกดาหาร	29,708	0.27%	2,864	8,704	14,843
แม่ฮ่องสอน	3,556	0.03%	343	1,042	1,777
ยโสธร	32,919	0.30%	3,173	9,645	16,448
ยะลา	48,184	0.43%	4,645	14,117	24,075

จังหวัด	จำนวนรถ	เปอร์เซ็นต์	ระยะใกล้	ระยะกลาง	ระยะไกล
ร้อยเอ็ด	73,348	0.66%	7,070	21,490	36,648
ระนอง	15,137	0.14%	1,459	4,435	7,563
ระยอง	198,102	1.79%	19,096	58,041	98,980
ราชบุรี	86,703	0.78%	8,358	25,403	43,321
ลพบุรี	93,319	0.84%	8,995	27,341	46,626
ลำปาง	92,278	0.83%	8,895	27,036	46,106
ลำพูน	38,920	0.35%	3,752	11,403	19,446
เลย	49,445	0.45%	4,766	14,487	24,705
ศรีสะเกษ	56,111	0.51%	5,409	16,440	28,036
สกลนคร	74,239	0.67%	7,156	21,751	37,093
สงขลา	271,669	2.45%	26,187	79,594	135,738
สตูล	22,059	0.20%	2,126	6,463	11,022
สมุทรปราการ	17,811	0.16%	1,717	5,218	8,899
สมุทรสงคราม	9,988	0.09%	963	2,926	4,990
สมุทรสาคร	13,238	0.12%	1,276	3,879	6,614
สระแก้ว	45,444	0.41%	4,380	13,314	22,706
สระบุรี	94,197	0.85%	9,080	27,598	47,065
สิงห์บุรี	27,014	0.24%	2,604	7,915	13,497
สุโขทัย	45,092	0.41%	4,347	13,211	22,530
สุพรรณบุรี	75,645	0.68%	7,292	22,163	37,796
สุราษฎร์ธานี	151,497	1.37%	14,603	44,386	75,695
สุรินทร์	63,162	0.57%	6,088	18,505	31,559
หนองคาย	36,800	0.33%	3,547	10,782	18,387
หนองบัวลำภู	26,174	0.24%	2,523	7,669	13,078

จังหวัด	จำนวนรถ	เปอร์เซ็นต์	ระยะใกล้	ระยะกลาง	ระยะไกล
อ่างทอง	32,543	0.29%	3,137	9,535	16,260
อำนาจเจริญ	18,774	0.17%	1,810	5,500	9,380
อุดรธานี	146,351	1.32%	14,107	42,878	73,123
อุตรดิตถ์	42,074	0.38%	4,056	12,327	21,022
อุทัยธานี	31,386	0.28%	3,025	9,196	15,682
อุบลราชธานี	147,884	1.33%	14,255	43,327	73,889

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ญ

จำนวนประชากรในแต่ละอำเภอในจังหวัดภาคตะวันออกของประเทศไทย

เทียบกับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยที่พยากรได้

จังหวัด	อำเภอ	ประชากร	จำนวนรถยนต์ปัจจุบัน	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าระยะใกล้	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าระยะกลาง	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าระยะไกล
จันทบุรี	เมืองจันทบุรี	56,880	24,126	2,326	7,068	12,054
	ท่าใหม่	23,884	10,130	977	2,968	5,062
	มะขาม	11,590	4,916	474	1,440	2,456
	ขลุง	19,583	8,306	801	2,434	4,150
	เขาคิชฌกูฏ	10,756	4,562	440	1,337	2,279
	แหลมสิงห์	10,318	4,376	422	1,282	2,187
	นายายอาม	11,758	4,987	481	1,461	2,492
	โป่งน้ำร้อน	14,133	5,995	578	1,756	2,995
	สอยดาว	22,725	9,639	929	2,824	4,816
	แก่งหางแมว	16,188	6,866	662	2,012	3,431
ฉะเชิงเทรา	เมืองฉะเชิงเทรา	54,106	19,615	1,891	5,747	9,801
	บ้านโพธิ์	17,122	6,207	598	1,819	3,101
	คลองเขื่อน	3,695	1,340	129	392	669
	บางน้ำเปรี้ยว	22,046	7,992	770	2,342	3,993
	บางปะกง	38,920	14,110	1,360	4,134	7,050
	บางคล้า	15,596	5,654	545	1,657	2,825
	พนมสารคาม	30,433	11,033	1,064	3,232	5,513
	ท่าตะเกียบ	13,724	4,975	480	1,458	2,486
	แปลงยาว	15,219	5,517	532	1,616	2,757
	สนามชัยเขต	20,630	7,479	721	2,191	3,737
	ราชสาส์น	3,837	1,391	134	408	695
ชลบุรี	เมืองชลบุรี	166,136	87,873	8,470	25,745	43,905

จังหวัด	อำเภอ	ประชากร	จำนวนรถยนต์ปัจจุบัน	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าระยะใกล้	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าระยะกลาง	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าระยะไกล
	บ้านบึง	41,719	22,066	2,127	6,465	11,025
	พนัสนิคม	35,246	18,642	1,797	5,462	9,315
	ศรีราชา	137,748	72,858	7,023	21,346	36,403
	พานทอง	30,115	15,929	1,535	4,667	7,959
	เกาะสีชัง	1,851	979	94	287	489
	บางละมุง	190,735	100,884	9,724	29,557	50,406
	เกาะจันทร์	11,414	6,037	582	1,769	3,016
	หนองใหญ่	6,995	3,700	357	1,084	1,849
	บ่อทอง	13,982	7,395	713	2,167	3,695
	สัตหีบ	70,336	37,202	3,586	10,900	18,588
ตราด	เมืองตราด	36,884	7,326	706	2,146	3,660
	เขาสมิง	17,028	3,382	326	991	1,690
	แหลมงอบ	6,887	1,368	132	401	683
	เกาะช้าง	4,504	895	86	262	447
	บ่อไร่	15,910	3,160	305	926	1,579
	คลองใหญ่	8,275	1,644	158	482	821
	เกาะกูด	1,388	276	27	81	138
ปราจีนบุรี	เมืองปราจีนบุรี	39,056	13,162	1,269	3,856	6,576
	บ้านสร้าง	9,503	3,202	309	938	1,600
	ศรีมโหสถ	6,452	2,174	210	637	1,086
	ศรีมหาโพธิ	31,724	10,691	1,030	3,132	5,342
	ประจันตคาม	15,963	5,379	519	1,576	2,688

จังหวัด	อำเภอ	ประชากร	จำนวนรถยนต์ปัจจุบัน	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าระยะใกล้	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าระยะกลาง	จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าระยะไกล
	กบินทร์บุรี	49,469	16,671	1,607	4,884	8,330
	นาดี	16,478	5,553	535	1,627	2,775
ระยอง	เมืองระยอง	135,972	83,380	8,037	24,429	41,660
	บ้านค่าย	24,860	15,244	1,469	4,466	7,617
	นิคมพัฒนา	23,924	14,670	1,414	4,298	7,330
	บ้านฉาง	31,318	19,205	1,851	5,627	9,595
	ปลวกแดง	34,609	21,223	2,046	6,218	10,604
	แกลง	53,187	32,615	3,144	9,556	16,296
	วังจันทร์	10,144	6,220	600	1,822	3,108
	เขาชะเมา	9,042	5,545	534	1,624	2,770
สระแก้ว	เมืองสระแก้ว	34,883	9,087	876	2,662	4,540
	เขาฉกรรจ์	15,366	4,003	386	1,173	2,000
	วัฒนานคร	24,731	6,442	621	1,888	3,219
	วังน้ำเย็น	20,666	5,383	519	1,577	2,690
	อรัญประเทศ	34,779	9,060	873	2,654	4,527
	วังสมบูรณ์	12,260	3,194	308	936	1,596
	คลองหาด	11,181	2,913	281	853	1,455
	โคกสูง	6,771	1,764	170	517	881
	ตาพระยา	13,813	3,598	347	1,054	1,798

รายการอ้างอิง

1. Paravantis, J.A. and D.A. Georgakellos, *Trends in energy consumption and carbon dioxide emissions of passenger cars and buses.* Technological Forecasting and Social Change, 2007. 74(5): p. 682-707.
2. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้พลังงาน ปี 2564. กระทรวงพลังงาน, 2564.
3. กลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงาน กรมการขนส่งทางบก. สถิติจำนวนรถยนต์จดทะเบียนสะสมปี พ.ศ. 2561 2566 10 january 2022]; Available from: https://web.dlt.go.th/statistics/.
4. De Carlo, M. and G. Mantriota, *Electric vehicles with two motors combined via planetary gear train.* Mechanism and Machine Theory, 2020. 148.
5. Bellocchi, S., et al., *On the role of electric vehicles towards low-carbon energy systems: Italy and Germany in comparison.* Applied Energy, 2019. 255.
6. ดร.ศิวาลัย ขันธะชวนะ, รถยนต์ไฟฟ้า...เปลี่ยนความท้าทายในธุรกิจน้ำมันให้กลายเป็นโอกาส. ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจและธุรกิจ ธนาคารไทยพาณิชย์, 2019.
7. Sovacool, B.K., et al., *Pleasure or profit? Surveying the purchasing intentions of potential electric vehicle adopters in China.* Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2019. 124: p. 69-81.
8. สถาบันยานยนต์, ความรู้ยานยนต์ไฟฟ้าเบื้องต้น. โครงการศูนย์การเรียนรู้เทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า สถาบันยานยนต์, 2012.
9. บริษัท สิขร จำกัด, โครงการศึกษาวิจัยถอดแบบชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้า. โครงการศูนย์การเรียนรู้เทคโนโลยีและนวัตกรรม เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า, 2561.
10. Li, W., et al., *Determining the Main Factors Influencing the Energy Consumption of Electric Vehicles in the Usage Phase.* Procedia CIRP, 2016. 48: p. 352-357.
11. Rengui Lu, A.Y., Yufeng Xue, Lichao Xu, Chunbo Zhu, *Analysis of the key factors affecting the energy efficiency of batteries in electric vehicle.* World Electric Vehicle Journal, 2010. 4(1): p. 9 - 13.
12. Europe, B., *Strategic Research Agenda for Batteries* 2020. Batteries Europe–European Technology and Innovation Platform (ETIP). 2020.
13. NPE, N.P.E., *Roadmap integrierte Zell-und Batterieproduktion Deutschland*. 2016

14. Steen, M., et al., *EU competitiveness in advanced Li-ion batteries for E-mobility and stationary storage applications–opportunities and actions.* Publ. Off. Eur. Union, 2017. 44.

15. EMIRI, *Advanced materials for clean and sustainable energy and mobility.* 2019.

16. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สงบ คำค้อ, การศึกษาสถานภาพการพัฒนาเทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบในประเทศไทย. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2562.

17. İntepe, G., E. Bozdag, and T. Koc, *The selection of technology forecasting method using a multi-criteria interval-valued intuitionistic fuzzy group decision making approach.* Computers & Industrial Engineering, 2013. 65(2): p. 277-285.

18. Daim, T.U., et al., *Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis.* Technological Forecasting and Social Change, 2006. 73(8): p. 981-1012.

19. Dubarić, E., et al., *Patent data as indicators of wind power technology development.* World Patent Information, 2011. 33(2): p. 144-149.

20. Bengisu, M. and R. Nekhili, *Forecasting emerging technologies with the aid of science and technology databases.* Technological Forecasting and Social Change, 2006. 73(7): p. 835-844.

21. Rogers, E.M. and D. Williams, *Diffusion of.* Innovations (Glencoe, IL: The Free Press, 1962), 1983.

22. Blackman Jr, A.W., *A mathematical model for trend forecasts.* Technological Forecasting and Social Change, 1971. 3: p. 441-452.

23. Dublin, L.I. and A.J. Lotka, *On the true rate of natural increase: As exemplified by the population of the United States,* 1920. Journal of the American statistical association, 1925. 20(151): p. 305-339.

24. Cho, Y. and T. Daim, *OLED TV technology forecasting using technology mining and the Fisher-Pry diffusion model.* Foresight, 2016. 18(2): p. 117-137.

25. Ganjeizadeh, F., et al., *Applying Looks-like Analysis and Bass Diffusion Model Techniques to Forecast a Neurostimulator Device with No Historical Data.* Procedia Manufacturing, 2017. 11: p. 1916-1924.

26. Bass, F.M., *A new product growth for model consumer durables.* Management

science, 1969. 15(5): p. 215-227.

27. ภวัต ตันสุรัตน์, ณัฐสิทธิ์ เกิดศรี, การวิเคราะห์คาดการณ์รูปแบบการแพร่กระจายของเทคโนโลยี : กรณีศึกษาของเทคโนโลยี *OLED.* วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 39, 2559. 4: p. 585.
28. Porter, A.L. and S.W. Cunningham, *Tech mining: exploiting new technologies for competitive advantage*. 2004: John Wiley & Sons.
29. Trappey, C.V., et al., *Using patent data for technology forecasting: China RFID patent analysis.* Advanced Engineering Informatics, 2011. 25(1): p. 53-64.
30. Furman, J.L., M.E. Porter, and S. Stern, *The determinants of national innovative capacity.* Research policy, 2002. 31(6): p. 899-933.
31. Crosby, M., *Patents, innovation and growth.* Economic Record, 2000. 76(234): p. 255-262.
32. Jung, S. and K.-Y. Imm, *The patent activities of Korea and Taiwan: a comparative case study of patent statistics.* World Patent Information, 2002. 24(4): p. 303-311.
33. Lotka, A.J., *The frequency distribution of scientific productivity.* Journal of the Washington academy of sciences, 1926. 16(12): p. 317-323.
34. Zipf, G.K., *The Psychobiology of Language,* 1935. List of Figures List of Figures List of Figures, 1935.
35. Budd, J.M., *A bibliometric analysis of higher education literature.* Research in Higher Education, 1988. 28: p. 180-190.
36. ดร.นภดล ร่มโพธิ์, การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยในการตัดสินใจทางธุรกิจ. วารสารบริหารธุรกิจ. 2554. 34(130): p. 10 – 13.
37. ประสาน มีดภา, การส่งเสริมกระบวนการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้ทฤษฎีบทพีทาโกรัส. 2556, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี: อุบลราชธานี.
38. BALAKRISHNAN, G., Y.P. YEN, and E.L.E. GOH, *Mathematical modelling in the Singapore secondary school mathematics curriculum*, in *Mathematical Applications And Modelling: Yearbook* 2010*, Association of Mathematics Educators*. 2010, World Scientific. p. 247-257.
39. Kim, H.Y., et al., *Teachers' Perceptions and Applications of Key Competency-Based Learning and Instruction in Mathematics Classrooms.* Journal of the Korean School Mathematics Society, 2012. 15(4): p. 605-625.

40. DINDYAL, J., *Word problems and modelling in primary school mathematics*, in *Mathematical Applications And Modelling: Yearbook 2010, Association of Mathematics Educators*. 2010, World Scientific. p. 94-111.

41. ปรารถนา ปรารถนาดี, ปัญหาการหาค่าที่เหมาะที่สุด. 2556: ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

42. สนธิกิจ ลิมปนาวาณิช, การวิเคราะห์ที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าสำหรับโซนภาคใต้ กรณีศึกษาบริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง., in คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2562, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์: สงขลา.

43. Marchiori, E. and A. Steenbeek. *An evolutionary algorithm for large scale set covering problems with application to airline crew scheduling*. in *Workshops on Real-World Applications of Evolutionary Computation*. 2000. Springer.

44. Plötz, P., et al., *Who will buy electric vehicles? Identifying early adopters in Germany.* Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2014. 67: p. 96-109.

45. Priessner, A., R. Sposato, and N. Hampl, *Predictors of electric vehicle adoption: An analysis of potential electric vehicle drivers in Austria.* Energy Policy, 2018. 122: p. 701-714.

46. Broadbent, G., G. Metternicht, and D. Drozdzewski, *An Analysis of Consumer Incentives in Support of Electric Vehicle Uptake: An Australian Case Study.* World Electric Vehicle Journal, 2019. 10(1).

47. Farkas, F., et al., *Monitoring the Set up and Use of Electric Cars and Charging Points in Szeged.* Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering, 2018. 11(3): p. 79-83.

48. She, Z.-Y., et al., *An analysis of the wind power development factors by Generalized Bass Model: A case study of China's eight bases.* Journal of Cleaner Production, 2019. 231: p. 1503-1514.

49. Chu, C.-P. and J.-G. Pan, *The forecasting of the mobile Internet in Taiwan by diffusion model.* Technological Forecasting and Social Change, 2008. 75(7): p. 1054-1067.

50. Lim, J., et al., *Forecasting 3G mobile subscription in China: A study based on stochastic frontier analysis and a Bass diffusion model.* Telecommunications Policy, 2012. 36(10-11): p. 858-871.

51. P. Tansurat, N.G. *Forecasting of Diffusion Pattern: A Case Example of OLED*

Technology. in *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. 2014. Malaysia.

52. อภิชณา เรืองรอง, การประยุกต์ใช้ทฤษฎีปกคลุมเซตสำหรับจัดเส้นทางการขนส่งแบบมิลล์รันเสมือน กรณีศึกษาโรงงานแห่งหนึ่ง., in วิศวกรรมศาสตร์. 2559, มหาวิทยาลัยศิลปากร: นครปฐม.
53. Team, T. สถานีชาร์จ *EV* ทางเลือกในการปรับตัวของสถานีบริการน้ำมัน. 2022 [cited 2023 28 january 2023]; Available from: https://techsauce.co/pr-news/energy-transition-driven-ev-station-to-bcg-economy.
54. ดร. ณัทกฤช อภิภูชยะกุล. ความท้าทายของตลาดเครื่องชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า. 2566 [cited 2566 3 March 2023]; Available from: https://www.posttoday.com/post-next/be-greener/691054.
55. Kyle, M., & Qian, Y., *ntellectual property rights and access to innovation: evidence from TRIPS.* National Bureau of Economic Research, 2014.
56. Gerken, J.M., Moehrle, M. G., & Walter, L., *One year ahead! Investigating the time lag between patent publication and market launch: insights from a longitudinal study in the automotive industry.* R&D Management, 2015. 45(3): p. 287-303.
57. Iberdrola. *HISTORY OF THE ELECTRIC CAR*. 2023 [cited 2023 3 january 2023]; Available from: https://www.iberdrola.com/sustainability/history-electric-car.
58. Shahabuddin, S., *Why Forecasts Are Wrong?* The Journal of Business Forecasting, 1987. 6(3): p. 16.
59. TIMMER, J. *Solar energy has plunged in price—where does it go from here?.* 2017 [cited 2023 26 january 2023]; Available from: https://arstechnica.com/science/2017/04/whats-next-for-solar-energy/.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Tawanchan Phithakprawet
วุฒิการศึกษา	26 june 1996
รางวัลที่ได้รับ	Silpakorn University