

การพัฒนาตัวแบบต้นทุนในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าขนส่งสาธารณะบนพื้นฐาน ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน

The Developing Cost Model for Electric Public Transport Vehicles Charging Based on Blockchain Technology

กันต์ธมน สุขกระจ่าง*

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา เขตบึงช้าง เมือง สงขลา 90000

Kantamon Sukkrajang

Faculty of Industrial Technology Songkhla Rajabhat University, Khoa-Roob-Chang ,Muang,

Songkhla, 90000, Thailand

*Corresponding Author E-mail: kantamon.su@skru.ac.th

Received: Aug 26, 2021; Revised: Jan 27, 2022; Accepted: Jan 31, 2022

บทคัดย่อ

ในอนาคตการเพิ่มขึ้นของยานยนต์ไฟฟ้าขนส่งสาธารณะ มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจในการเลือกสถานีอัดประจุไฟฟ้า เนื่องจากสถานีอัดประจุยังมีไม่เพียงพอกับความต้องการต่อจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าขนส่งสาธารณะ เนื่องจากยานยนต์ไฟฟ้าเป็นยานพาหนะที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมประกอบกับอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างต่อเนื่อง จึงส่งผลให้ยานยนต์ไฟฟ้ามีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตอีกด้วย ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของการพัฒนาตัวแบบต้นทุนเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีบล็อกเชนในการตัดสินใจเลือกสถานีอัดประจุไฟฟ้า ภายใต้อิทธิพลของต้นทุนด้านราคา ระยะทาง เวลาในการเดินทาง และเวลาในการรอคอยของคิว ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดต้นทุน ดังนั้นผู้ขับขี่ควรลดต้นทุนที่ไม่จำเป็น เพิ่มความเร็วในการตัดสินใจ ตลอดจนมีความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยของข้อมูล เพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยสำคัญที่สุดในการตัดสินใจคือปัจจัยด้านเวลารอคอยในคิว ถือว่าเป็นต้นทุนที่เสียเปล่าแต่จำเป็นต้องเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามผู้ขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้าขนส่งสาธารณะ ควรให้ความสำคัญกับทุกปัจจัย เพื่อต้นทุนรวมต่ำสุดของการเข้ารับบริการ

คำสำคัญ: ตัวแบบต้นทุน, การอัดประจุ, ยานยนต์ไฟฟ้า, เทคโนโลยีบล็อกเชน, แถวคอย, การจำลองสถานการณ์

Abstract

In the future, the rise of electric public transport vehicles influences on the decision to choose the charging station because the charging station is still insufficient to the demand for the number of electric public transport vehicles. Because the electric vehicles are friendly to the environment and the population rate has continued to increase so electric vehicles are essential for life as well. The researcher, therefore, sees the importance of developing a cost model to be applied to blockchain technology in decision making to choose a charging station under the conditions of the cost of price, distance, travel time, and waiting time of queues. These factors are important that cause cost. Therefore, the drivers should reduce unnecessary costs, speed up decision making and data is reliable

and secure for complying with the current fast-paced situation. The study found that the most important deciding factor is the waiting time of the line that considered as the waste of cost that needed to happen. However, motorists should pay attention to every factor for the lowest total cost of service.

Key words: Cost models, Charging, Electric Vehicles, Blockchain Technology, Queuing, Simulation

1. บทนำ

ปัจจุบันโลกมีความต้องการพลังงานสีเขียว เพื่อลดสถานะแวดล้อมที่เป็นพิษทางอากาศ ยานยนต์ไฟฟ้าเป็นหนึ่งในตัวเลือกที่สามารถก้าวสู่เส้นทางสีเขียว ที่สามารถพัฒนารูปแบบของกระบวนการอัดประจุให้สามารถเข้าถึงความน่าเชื่อถือได้ ในขณะที่เดียวกันจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าขนส่งสาธารณะก็เริ่มเพิ่มสูงขึ้นอย่างช้าๆ แต่ก็ยังมีอุปสรรคในเรื่องของการอัดประจุเมื่อเทียบกับรถยนต์เครื่องสันดาปซึ่งถือเป็นโครงสร้างในการชาร์จที่มีความสำคัญมาก ในการนำไปสู่ความท้าทายสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

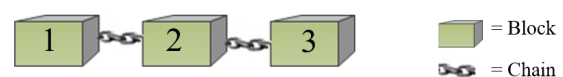
การเพิ่มขึ้นของยานยนต์ไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อตลาดสินใจในการเลือกสถานีอัดประจุ [1] เพื่อให้ได้ต้นทุนรวมต่ำที่สุดและสนองความต้องการของผู้บริโภคได้สูงสุด ซึ่งได้มีการศึกษาแพลตฟอร์มสำหรับการอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้าในรูปแบบพลังงานสมาร์ตกริด โดยนำเทคโนโลยีบล็อกเชนมาประยุกต์ใช้เพื่อลดค่าใช้จ่ายและสามารถค้นหาสถานีอัดประจุได้อย่างถูกต้อง และมีความน่าเชื่อถือ นอกจากนี้ยังมีการนำเทคโนโลยีบล็อกเชนมาประยุกต์ใช้ในการเดินทางของรถแท็กซี่ [2] ในการรับ ส่งผู้โดยสาร

บทความนี้จะนำเสนอตัวแบบต้นทุนเพื่อช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกสถานีอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อให้เกิดต้นทุนรวมต่ำสุดภายใต้สถานการณ์ที่กำหนดขึ้น เช่น ปัจจัยด้านระยะทาง ราคา เวลาในการเดินทาง และเวลาในการรอคอยคิว ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้เกิดต้นทุนทั้งสิ้น ผู้วิจัยจึงได้นำเทคโนโลยีบล็อกเชนเข้ามาเป็นเครื่องมือเพื่อช่วยในการสนับสนุนการตัดสินใจ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีความน่าเชื่อถือ ปลอดภัย และสามารถตรวจสอบได้ เนื่องจากใช้ระบบ Peer-to-Peer (P2P) ในการตรวจสอบข้อมูล [3] ส่งผลต่อความมีประสิทธิภาพของข้อมูลต่อไปในอนาคต

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. เทคโนโลยีบล็อกเชน (Blockchain Technology)

เทคโนโลยีบล็อกเชน (Blockchain Technology) คือระบบฐานข้อมูลแบบกระจายชนิดใหม่ ซึ่งจัดเก็บและบำรุงรักษารายการลงในบล็อก แต่ละบล็อกมีการแนบปีเวลาและเชื่อมต่อกับบล็อกก่อนหน้า [4] การทำงานของบล็อกเชนจะเป็นเทคโนโลยีการจัดเก็บข้อมูลแบบกระจาย (Distributed) [5] โดยเป็นรูปแบบการบันทึกข้อมูลที่รับประกันความปลอดภัย ข้อมูลที่ถูกบันทึกไปก่อนหน้านี้ไม่สามารถที่จะเปลี่ยนแปลง หรือแก้ไขได้ ซึ่งทุกผู้ใช้งานจะให้เห็นข้อมูลชุดเดียวกันทั้งหมด โดยใช้หลักการ Cryptography และความสามารถของ Distributed Computing เพื่อสร้างกลไกความน่าเชื่อถือ [6] และไม่สามารถเปลี่ยนรูปได้ [7] บล็อกเชนได้มีการประยุกต์ใช้ในหลายๆ เรื่อง เช่น การเงิน ตลาดหุ้น การลงคะแนนเสียง และสัญญาอัจฉริยะ ตลอดจนการผลิตและการกระจายพลังงาน [3],[8] บล็อกเชนมีลักษณะการทำงานแบบ P2P ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานแบบกระจายอำนาจและเป็นการตัดสินใจโดยไม่มีหน่วยงานกลางใดๆ [9] ไม่มีการควบคุมของฝ่ายใด โดยปฏิบัติตามนโยบายที่ตกลงกันไว้ (Consensus) ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ที่บล็อก แต่ละบล็อกจะเชื่อมโยงเข้าด้วยกันโดยมีโซ่ (chain) เป็นตัวเชื่อมแต่ละบล็อก เพื่อสร้างเป็นบล็อกเชน [10] ดังรูปที่ 1

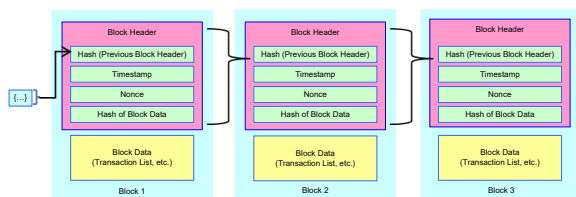


รูปที่ 1 ลักษณะของ Blockchain Technology

จากที่กล่าวมาข้างต้น บล็อกเชนจะจัดเก็บข้อมูลแบบกระจายศูนย์ (Distributed Ledger) โดยทุกข้อมูลที่มีการบันทึกในบล็อกจะมีการเชื่อมโยงกันทั้งระบบ และหากมี

การบันทึกธุรกรรมใหม่เกิดขึ้น จะมีการประกาศให้ทุกๆ โหนดหรือทุกเพียร์รับรู้ข้อมูลนั้น ซึ่งทุกเครือข่ายมีความเท่าเทียมกันในการรับรู้ข้อมูล ไม่มีโหนดใดหรือเพียร์ใดเป็นตัวกลางในการจัดการข้อมูล ซึ่งยากต่อการฉ้อโกง เรียกการทำงานแบบนี้ว่า Peer-to-Peer [4]

บล็อกเชน มีองค์ประกอบที่สำคัญ ประกอบด้วย ชุดบรรจุข้อมูล (Block) หลักการจดจำทุกๆ ธุรกรรม (Chain) การกำหนดข้อตกลงร่วมกัน (Consensus) และการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (Validation) โดยที่ข้อมูลในแต่ละ Block จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ Block data และ Block Header [6] ในการเชื่อมโยงกันของแต่ละบล็อกจะมีการเชื่อมโยงโดย Hash ของ Block ก่อนหน้า ดังนั้น ในการสร้างบล็อก หากบล็อกที่เผยแพร่ก่อนหน้านี้มีการเปลี่ยนแปลง ทำให้บล็อกที่ต่อกันทั้งหมดเปลี่ยนแปลงไปด้วย สามารถตรวจจับได้ว่าการฉ้อโกง และจะมีการปฏิเสธบล็อกที่มีการเปลี่ยนแปลงแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ห่วงโซ่ของบล็อก [11]

2.2.ระบบแถวคอย

ปัญหาในระบบแถวคอยที่พบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การรอรถโดยสาร รถไฟฟ้า โรงพยาบาล หรือรถรอคิวเติมน้ำมัน เป็นต้น และในส่วนของอุตสาหกรรมจะมีการรอคอยเกิดขึ้นในอุตสาหกรรม เช่น การรอวัตถุดิบหรือส่วนประกอบในการผลิต เป็นต้น [12]

ทฤษฎีแถวคอย (Waiting Line Theory หรือ Queuing Theory) ถูกพัฒนาขึ้นโดยวิศวกรโทรศัพท์ชาวเดนมาร์กชื่อ A.K. Erlang ซึ่งได้ศึกษาปัญหาการรอคอยของระบบโทรศัพท์ ต่อมาทฤษฎีแถวคอยได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อศึกษาคุณลักษณะของแบบจำลองของระบบแถวคอยต่างๆ แถวคอยอาจเกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการเข้าสู่ระบบมากกว่าอัตราการให้บริการ แต่แถวคอยก็อาจเกิดขึ้นได้ หากอัตราการเข้าสู่ระบบน้อยกว่าอัตราการให้บริการ ทั้งนี้เพราะมี

ความไม่แน่นอนของการเข้าสู่ระบบและการให้บริการ ดังนั้นการศึกษาทฤษฎีแถวคอยจึงช่วยให้สามารถคาดการณ์ลักษณะของแถวคอยได้ เช่น เวลาคอยโดยเฉลี่ยของลูกค้า จำนวนลูกค้าโดยเฉลี่ยในแถวคอย และสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจเกี่ยวกับระบบแถวคอยได้ เช่น ระบบควรมีผู้ให้บริการกี่คนจึงจะดีที่สุด โดยมีจำนวนผู้ให้บริการไม่มากจนเกิดการว่างงาน หรือไม่น้อยจนผู้เข้ารับบริการต้องรอเป็นเวลานาน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ทฤษฎีแถวคอยสามารถช่วยออกแบบระบบการให้บริการต่างๆ ให้ดีขึ้น และประหยัดค่าใช้จ่ายอีกด้วย [12]

บทความนี้ศึกษากรณีที่มีทรัพยากรให้บริการระบบไม่สามารถให้บริการได้ทันทีที่มีลูกค้าเข้ารับบริการ ซึ่งจะส่งผลให้มีการเกิดแถวคอย (Queue) ขึ้น กระบวนการแถวคอยโดยทั่วไปจะประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ คือ การมาถึงของวัตถุที่สนใจ กลุ่มประชากรผู้รับบริการ และส่วนการให้บริการ [12] ซึ่งองค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้ล้วนมีความสำคัญในระบบแถวคอยตามกรณีไป ผู้วิจัยประยุกต์ใช้โปรแกรม Arena Simulation เพื่อช่วยในจำลองสถานการณ์จริงในการวิเคราะห์แถวคอย ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น การวิเคราะห์ระบบแถวคอย การเข้าใช้บริการจุดชำระค่าบริการกระแสไฟฟ้าภาครัฐ [13] การตรวจสอบตู้คอนเทนเนอร์ [14] การตรวจสอบความปลอดภัยของสนามบิน [15] เป็นต้น

2.3.ยานยนต์ไฟฟ้า

ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle หรือ EV) คือ ยานยนต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเดียวย โดยไม่มีเครื่องยนต์มาช่วยผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้านั้นมีต้นทุนสูงกว่าการขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน เนื่องจากมีการเก็บไฟฟ้าสำรองไว้ในแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีราคาแพงของยานยนต์ไฟฟ้า

สำหรับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าหรือ EV แบตเตอรี่ส่วนใหญ่ก็เป็นแบตเตอรี่ชนิดเดียวกันกับแบตเตอรี่ที่ชาร์จขนาดเล็ก (เช่น ถ่านชาร์จ) เพียงแต่จะออกแบบให้มีขนาดใหญ่ขึ้น หรือใช้แบตเตอรี่ขนาดเล็กมาต่ออนุกรมรวมกัน เพื่อที่จะเก็บพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้น [16]

ในอนาคตอันใกล้รถยนต์ไฟฟ้ารวมถึงรถยนต์ไฟฟ้าแบบไฮบริด จะครองตลาดรถยนต์ทั่วโลก ในปี 2563 ยอดขายรถยนต์ใหม่ครึ่งหนึ่งจะเป็นรถ EV หรือรถ HEV แต่เนื่องจากเทคโนโลยีแบตเตอรี่ยังคงมีราคาแพง และคาดว่าจะอีกไม่นาน จะมีสถานีชาร์จที่มีอยู่ทั่วประเทศ จากการสำรวจของศูนย์วิจัยกสิกรไทย พบว่า ยอดขายรถยนต์กลุ่มรถยนต์ไฟฟ้า (ประกอบด้วยรถยนต์ไฮบริดหรือ HEV และรถยนต์ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าล้วนจากแบตเตอรี่ หรือ BEV) มีสัดส่วนยอดขายถึง 55% ของปริมาณยอดขายรถยนต์รวม[17] ซึ่งจะประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 แบบดังรูปที่ 3 [16] คือ

1. ระบบ Normal Charge คือ การชาร์จแบตเตอรี่ด้วยไฟกระแสสลับ AC โดยปกติระบบ Normal Charge จะชาร์จแบตเตอรี่ EV ขนาด 24 กิโลวัตต์ชั่วโมง และมีขนาดออนบอร์ดชาร์จเจอร์ที่ 3 กิโลวัตต์ ได้เต็ม 100% ในระยะเวลา 8 ชั่วโมงซึ่งระบบนี้นิยมติดตั้งเพื่อการชาร์จไฟแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าเฉพาะบ้านพักอาศัย

2. ระบบ Quick Charge คือ การชาร์จโดยใช้อุปกรณ์พิเศษที่เรียกว่า EV Charger ซึ่งส่วนใหญ่จะติดตั้งให้บริการตามสถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า โดยอุปกรณ์นี้จะแปลงไฟกระแสสลับ AC เป็นไฟฟ้ากระแสตรง DC จากนั้นประจุไฟ DC ที่แปลงได้เข้าแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งระยะเวลาในการประจุชาร์จไฟ จะเร็วมากมีกำลังชาร์จอยู่ที่ 50 กิโลวัตต์ สามารถชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าขนาด 24 กิโลวัตต์ชั่วโมงเต็ม 100% โดยใช้ระยะเวลาไม่เกินครึ่งชั่วโมงเท่านั้น

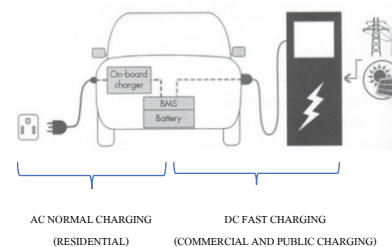
3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1.ตัวแบบต้นทุนในการอัดประจุ

จากการศึกษาบทความเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้าบนพื้นฐานของ Blockchain [1] พบว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญในการตัดสินใจเลือกสถานีอัดประจุ คือ ราคา ระยะทาง และเวลาการรอกอยในคิว และเวลาการอัดประจุ (Service Time)

นอกจากปัจจัยดังกล่าวแล้ว ยังมีปัจจัยอีกมากมาย เช่น เวลาการรอกอยที่สถานีอัดประจุ ตารางการอัดประจุ [18]

สถานะการคงอยู่ของแบตเตอรี่ ความคาดหวังในการตัดสินใจ การจราจรแออัด สถานการณ์ระหว่างทาง [19] โดยปัจจัยดังกล่าวผู้วิจัยจะนำมาพัฒนาเพื่อเป็นแนวทางในงานวิจัยต่อไป



รูปที่ 3 ระบบชาร์จไฟแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าแบบ Normal Charge และ Quick Charge

ดังนั้น ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของระยะเวลาที่รอกอยในคิวก่อนการเข้าอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งถือเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดต้นทุนอีกปัจจัยหนึ่ง [18] จึงได้เสนอแนวคิดเพื่อพัฒนาตัวแบบของต้นทุนรวมที่จะเกิดขึ้นในการอัดประจุเพิ่มเติมจากบทความเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้าบนพื้นฐานของ Blockchain [1] โดยเพิ่มปัจจัยด้านระยะเวลาในการรอกอยก่อนเข้ารับบริการ (C_{wq}) ดังนี้

TC	=	ต้นทุนรวม (บาท)
C_c	=	ต้นทุนของการอัดประจุ (บาท)
C_t	=	ต้นทุนของระยะทาง (บาท)
C_w	=	ต้นทุนเวลาการอัดประจุ (บาท)
C_f	=	ต้นทุนของการเข้าคิวชาร์จ (บาท)
C_{wq}	=	ต้นทุนการรอกอยในคิว (บาท)
BC	=	ความจุแบตเตอรี่ (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง)
%SOC	=	สถานะคงเหลือของประจุก่อนมาถึงสถานี (เปอร์เซ็นต์)
N	=	จำนวนสถานีอัดประจุ (สถานี)
n	=	จำนวนหัวอัดประจุ (หัว)
A	=	การใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง)
D_n	=	ระยะทางระหว่างสถานีอัดประจุกับตำแหน่งของยานยนต์ไฟฟ้า (กิโลเมตร)

- P_n = ราคาประจุไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)
 P_t = ราคาการเสียเวลาในการเดินทาง (บาทต่อชั่วโมง)
 คำจำกัดความ [1]
 P_w = ราคาของการเสียเวลาของการรอคอยระหว่างการอัดประจุ (บาทต่อชั่วโมง)
 P_{wq} = ราคาของการรอคอยในคิว (บาทต่อชั่วโมง)
 V = อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

$$TC = C_c + C_t + C_w + C_f + C_{wq} \quad (1)$$

$$C_c = [(100 - \%SOC) * BC + A * D_n] * P_n \quad (2)$$

$$C_t = \left(\frac{D_n}{V} * P_t\right) \quad (3)$$

$$C_w = \left(\frac{(100 - \%SOC) * BC + A * D_n}{R}\right) * P_w \quad (4)$$

$$C_{wq} = \frac{L_q}{\lambda} * P_{wq} \quad (5)$$

จากสมการที่ (1) แสดงต้นทุนรวมของยานยนต์ไฟฟ้า โดยเริ่มต้นจากความต้องการในการอัดประจุ จนกระทั่งได้ประจุไฟฟ้าตามความต้องการ และจากสมการที่ (5) แสดงต้นทุนด้านเวลาของรถยนต์ไฟฟ้าที่อยู่ในระบบแถวคอย และรอรับบริการอัดประจุไฟฟ้า โดยจะหาความสัมพันธ์ระหว่าง W , W_q , L และ L_q และกำหนดให้พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองแถวคอย ดังนี้

สัญลักษณ์ ความหมาย

- λ อัตราการมาถึงโดยเฉลี่ย (จำนวน/หน่วยเวลา)
 μ อัตราการให้บริการโดยเฉลี่ย (จำนวน/หน่วยเวลา)
 L จำนวนลูกค้าที่คาดว่าจะมีในระบบ
 L_q จำนวนความยาวของแถวคอยที่คาดว่าจะมี
 W เวลาที่คาดว่าจะลูกค้าแต่ละคนต้องคอยอยู่ในระบบรวมเวลาที่รับบริการ
 W_q เวลาที่คาดว่าจะลูกค้าแต่ละคนต้องคอยอยู่ในแถว
 R จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทำซ้ำ
 R_0 จำนวนรอบเบื้องต้นในการทำซ้ำ
 H_0 ค่าคลาดเคลื่อน (Half Width) จากจำนวนรอบการทำซ้ำเบื้องต้น
 h ค่าคลาดเคลื่อน (Half Width) ที่ยอมรับ

การศึกษานี้ผู้วิจัยคำนวณจำนวนรอบในการทำซ้ำของแบบจำลองที่เหมาะสม เพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อน (Half width) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งการสร้างแบบจำลองในครั้งนี้กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของเวลารอคอยในแถวคอยเฉลี่ย ไม่เกินร้อยละ 5 และใช้เป็นตัวแทนจากแบบจำลองที่สร้างขึ้น โดยจำนวนรอบที่เหมาะสม [20] โดยใช้โปรแกรม Arena เพื่อช่วยในจำลองสถานการณ์ และได้วิเคราะห์การแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ซึ่งการแจกแจงของการเข้าสู่ระบบของลูกค้าจะเป็นแบบปัวส์ซอง [12] แสดงสมการได้ดังนี้

1. จำนวนลูกค้าที่รอในระบบ

$$L = \frac{\lambda}{(\mu - \lambda)} \quad (6)$$

2. จำนวนลูกค้าเฉลี่ยที่รอในแถวคอย

$$L = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (7)$$

3. เวลาที่ลูกค้าแต่ละรายอยู่ในระบบ

$$W = \frac{L}{\lambda} \quad (8)$$

4. เวลาที่ลูกค้าแต่ละรายอยู่ในแถวคอย

$$w_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (9)$$

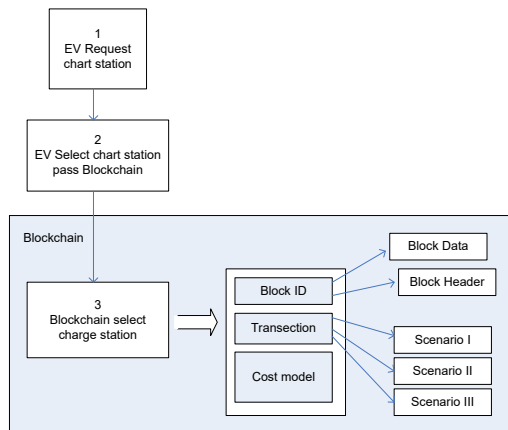
5. จำนวนรอบที่เหมาะสม

$$R = R_0 \frac{h_0^2}{h^2} \quad (10)$$

3.2.การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนในการตัดสินใจในการเลือกสถานีอัดประจุ

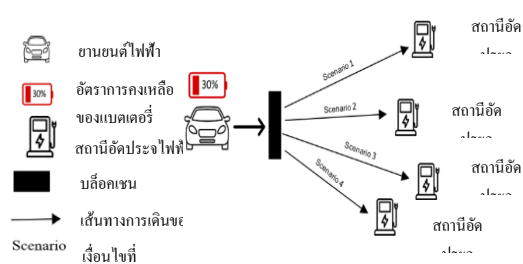
ส่วนนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงตัดสินใจในการเลือกสถานีอัดประจุที่อยู่บนพื้นฐานการตัดสินใจของบล็อกเชน โดยบล็อกเชนจะพิจารณาเลือกสถานีอัดประจุนยนต์ไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขด้านราคา ระยะทาง การคงเหลือของแบตเตอรี่ก่อนเข้าอัดประจุ การรอคอยอัดประจุ [1] และ

การรอคอยในคิวเพื่ออัดประจุ ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ทำให้เกิดต้นทุนทั้งสิ้น ดังนั้นเพื่อสร้างความพึงพอใจของผู้ขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้า ผู้วิจัยจึงพัฒนาตัวแบบที่ใช้ในการตัดสินใจในการเข้าอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้าให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด เพื่อสร้างความคุ้มค่าให้กับผู้ขับขี่ภายใต้สถานการณ์ของการตัดสินใจที่อยู่บนพื้นฐานการทำงานของบล็อกเชนแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงสร้างการทำงานของบล็อกเชนภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

จากรูปที่ 4 แสดงโครงสร้างการทำงานของบล็อกเชนภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด จากรูปอธิบายได้ว่ายานยนต์ไฟฟ้าขนส่งสาธารณะมีความต้องการในการอัดประจุ และทำการร้องขอเข้ารับการอัดประจุที่สถานี โดยบล็อกเชนจะพิจารณาและตัดสินใจเลือกสถานีอัดประจุ ภายใต้เงื่อนไขที่ผู้วิจัยได้



รูปที่ 5 เส้นทางของสถานีอัดประจุไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไข

จากรูปที่ 5 ยานยนต์ไฟฟ้าขนส่งสาธารณะ มีความต้องการอัดประจุไฟฟ้า ในขณะที่ยานยนต์ไฟฟ้ามีอัตราการคงเหลือของแบตเตอรี่ 30% โดยบล็อกเชนจะทำการตัดสินใจเลือก

สถานีอัดประจุภายใต้เงื่อนไขด้านราคา ระยะทาง เวลาการรอคอยในคิว และเวลาการอัดประจุ (Service Time)

4. สถานการณ์จำลอง

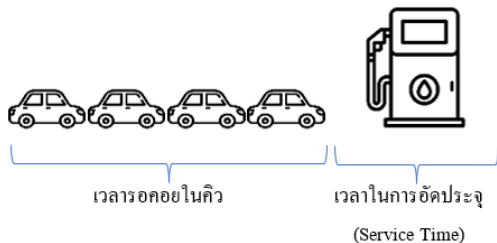
การตัดสินใจเลือกสถานีอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้าขนส่งสาธารณะ มีปัจจัยที่มีส่วนช่วยลดต้นทุนในการอัดประจุ เช่น ด้านราคา ระยะทาง เวลาในการเดินทาง และการรอคอยในคิวก่อนได้รับการอัดประจุ และเวลาการอัดประจุซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุน (แสดงดังรูปที่ 6) ดังนั้น ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญจึงประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนเข้ามาช่วยในการตัดสินใจเลือกสถานีอัดประจุ เพื่อก่อให้เกิดความพึงพอใจสูงสุดในการเข้ารับบริการของผู้ขับขี่ ดังนั้น ผู้วิจัยได้จำลองสถานการณ์ขึ้น เพื่อเป็นแนวทางการคาดการณ์ในการตัดสินใจหากเกิดสถานการณ์จริงในอนาคตต่อไปได้ดังนี้

1. Tesla คือ ยานยนต์ไฟฟ้าขนส่งสาธารณะ มีความจุของแบตเตอรี่ 90 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง และสามารถวิ่งได้ 473 กิโลเมตร
2. อัตราความเร็วในการวิ่ง 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
3. ต้นทุนในการเดินทางและต้นทุนเวลาการอัดประจุ 20.83 บาทต่อชั่วโมง [1]
4. ยานยนต์ไฟฟ้าขนส่งสาธารณะ มีปริมาณพลังงานคงเหลือ 30 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง
5. ต้นทุนของการเช่าหัวชาร์จ (แบบ wall connector) มีราคา 4 บาทต่อคัน [21]
6. การเข้ารับบริการเป็นแบบแบบปั๊มของ มีช่วงเวลาดำเนินการมาถึง (การมาถึงของยานยนต์ไฟฟ้าขนส่งสาธารณะ) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10 นาที และมีการให้บริการอีกโพลีเนนเชียล (เวลาในการอัดประจุ) มีเฉลี่ยเท่ากับ 30 นาที
7. ผู้วิจัยได้สมมติสถานการณ์ไว้ 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 สถานีอัดประจุมีจำนวน 3 หัวอัดประจุ มี 4 สถานี (สถานีที่ 5-8)

กรณีที่ 2 สถานีอัดประจุมีจำนวน 6 หัวอัดประจุ มี 4 สถานี (สถานีที่ 1-4)

8. จากการสมมติสถานการณ์ทั้ง 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 สถานีอัดประจุมีจำนวน 3 หัวอัดประจุ ทำซ้ำทั้งหมด 1,098 รอบ ได้เวลาเฉลี่ยในแถวคอยเท่ากับ 34.64 นาที มีต้นทุนในการรอคอยเท่ากับ 721.67 บาท (ใช้ในการคำนวณสถานีที่ 5-8) และกรณีที่ 2 สถานีอัดประจุมีจำนวน 6 หัวอัดประจุ ทำซ้ำทั้งหมด 5,225 รอบ ได้เวลาเฉลี่ยในแถวคอยเท่ากับ 0.097 นาที มีต้นทุนในการรอคอยเท่ากับ 2.02 บาท (ใช้ในการคำนวณสถานีที่ 1-4) และทั้ง 2 กรณีมีจำนวนการทำซ้ำเบื้องต้นของแบบจำลอง 10 รอบ
9. กำหนดในช่วงเวลาในการทำงานของแบบจำลอง ในช่วงเวลา 6.00-22.00 น.



รูปที่ 6 เวลาการรอคอยในคิว และเวลาการอัดประจุ

5. สรุปผล

จากตารางที่ 1 สามารถสรุปได้ว่า

1. สถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ 1 สถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ 2 มีปัจจัยด้านราคาเท่ากัน แต่ระยะทางต่างกัน ยานยนต์ไฟฟ้าขนส่งสาธารณะตัดสินใจเลือกระยะทางที่สั้นที่สุด เนื่องจากมีต้นทุนต่ำกว่า (การตัดสินใจอยู่ภายใต้เงื่อนไขของบล็อกเชน)
2. สถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ 1 สถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ 4 มีปัจจัยด้านระยะทางเท่ากัน แต่มีราคาต่างกัน ยานยนต์ไฟฟ้าขนส่งสาธารณะตัดสินใจเลือกราคาที่ถูกที่สุด เนื่องจากมีต้นทุนต่ำกว่า (การตัดสินใจอยู่ภายใต้เงื่อนไขของบล็อกเชน)
3. สถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ 2 สถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ 3 มีปัจจัยด้านระยะทางและราคาต่างกัน ยานยนต์ไฟฟ้าขนส่ง

สาธารณะตัดสินใจเลือกต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด (การตัดสินใจอยู่ภายใต้เงื่อนไขของบล็อกเชน)

4. สถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ 1 สถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ 5 มีปัจจัยด้านราคาและระยะทางเท่ากัน แต่การรับบริการแบบปั๊มของต่างกัน คือ มีการเข้ารับบริการเท่ากับ 10 นาทีต่อคัน จำนวน 6 หัวอัดประจุ และมีการเข้ารับบริการเท่ากับ 10 นาทีต่อคัน จำนวน 3 หัวอัดประจุ ยานยนต์ไฟฟ้าขนส่งสาธารณะตัดสินใจเลือกการเข้ารับบริการเท่ากับ 10 นาทีต่อคัน จำนวน 6 หัวอัดประจุ เนื่องจากมีต้นทุนรวมต่ำสุด (การตัดสินใจอยู่ภายใต้เงื่อนไขของบล็อกเชน)

6. การอภิปรายผล

จากการศึกษาเรื่องการพัฒนาตัวแบบต้นทุนในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าขนส่งสาธารณะบนพื้นฐานเทคโนโลยีบล็อกเชน ผู้วิจัยได้พัฒนาตัวแบบในส่วนของระยะเวลาในการรอคิวเพื่อเข้ารับการอัดประจุนอกเหนือจากปัจจัยด้านราคา ระยะทาง เวลาในการอัดประจุ [1] โดยผู้วิจัยประยุกต์ใช้บล็อกเชนในการตัดสินใจเลือกสถานีอัดประจุ ซึ่งจะพิจารณาจากต้นทุนรวม ในการตัดสินใจของบล็อกเชนจะมีระบบ Smart Contract ทำธุรกรรมโดยอัตโนมัติ เพื่อบันทึกข้อตกลงของสัญญา (เงื่อนไขด้านราคา ระยะทาง และเวลาการรอคอยในคิว และเวลาการอัดประจุ (Service Time) ที่สามารถดำเนินการได้ด้วยตัวเอง ไม่จำเป็นต้องมีคนกลาง [22] ทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ ตรวจสอบได้จากการศึกษาพบว่า บล็อกเชนให้ความสำคัญกับต้นทุนรวมมากที่สุด โดยไม่ได้เจาะจงความสำคัญของปัจจัยใดปัจจัยหนึ่ง (รายละเอียดดังข้อ 5.5)

อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยยังคงสนใจและตั้งใจที่จะทำการศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อต้นทุนในการเข้ารับบริการของยานยนต์ไฟฟ้าสาธารณะต่อไป เช่น การมีร้านอาหารในพื้นที่อัดประจุ มีที่พักหรือสวนหย่อม มีการส่งเสริมการขายในรูปแบบต่างๆ เป็นต้น เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพิ่มความสะดวกสบาย และสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้าต่อไป

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ต้นทุนรวมจากตัวแบบภายใต้ปัจจัยต่างๆ

สถานีอัดประจุ	ปัจจัย								
	ราคาต่อหน่วยประจุไฟฟ้า (บาท)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนหัวอัดประจุ (หัว)	ต้นทุนในการอัดประจุ (บาท)	ต้นทุนของระยะทาง (บาท)	ต้นทุนเวลาในการอัดประจุ (บาท)	ต้นทุนของการเข้าหัวชาร์จ (บาท)	ต้นทุนการรอคอยในคิว (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)
สถานีที่ 1	10	16	6	660.44	88.89	19.66	4	2.02	775.01
สถานีที่ 2	10	12	6	652.83	50.00	19.43	4	2.02	728.28
สถานีที่ 3	7	20	6	467.64	138.89	19.88	4	2.02	632.43
สถานีที่ 4	7	16	6	462.31	88.89	19.66	4	2.02	576.88
สถานีที่ 5	10	16	3	660.44	88.89	19.66	4	721.67	1,494.66
สถานีที่ 6	10	12	3	652.83	50.00	19.43	4	721.67	1,447.93
สถานีที่ 7	7	20	3	467.64	138.89	19.88	4	721.67	1,352.08
สถานีที่ 8	7	16	3	462.31	88.89	19.66	4	721.67	1,296.52

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Sukkrajang, R. Duangsoithong and K. Chalermaynont, "Trade Distance and Price Model for Electric Vehicle Charging using Blockchain-based Technology," in *2021 18th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Chiang Mai, Thailand, May 19–22, 2021, pp. 964–967, doi: 10.1109/ECTI-CON51831.2021.9454741.
- [2] Z. Jin, R. Wu, X. Chen, and G. Li, "Charging guiding strategy for electric taxis based on consortium blockchain," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 144144–144153, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2945081.
- [3] S. Nakamoto, "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system," *Decentralized Business Review*, pp. 21260, 2008.
- [4] L. Boongasame, "Introduction to Blockchain," in *Blockchain, 1st ed.* Bangkok, Thailand: Paper Print, 2020, ch. 1, pp. 1.
- [5] A. Leemakdej, "Bitcoin and the birth of Blockchain 1.0," in *Blockchain Disruptive Business*, Bangkok, Thailand: GREATidea co., 2020, ch. 1, pp. 15.
- [6] Digital Government Development Agency (Public Organization), "dictionary" in *Blockchain for Government Services*, 2nd ed. Bangkok, Thailand: DGA, 2021, pp. 13.
- [7] A. Kosba, A. Miller, E. Shi, Z. Wen and C. Papamanthou, "Hawk: The blockchain model of cryptography and privacy-preserving smart contracts," in *2016 IEEE symposium on security and privacy (SP)*, San Jose, CA, USA, May 22–26, 2016, pp. 839–858, doi: 10.1109/SP.2016.55.
- [8] G. Zyskind and O. Nathan, "Decentralizing privacy: Using blockchain to protect personal data," in *2015 IEEE Security and Privacy Workshops*, San Jose, CA, USA, May 21–22, 2015, pp. 180–184, doi: 10.1109/SPW.2015.27.
- [9] B. Ramamurthy, "Blockchain basics" in *Blockchain in action*, Shelter Island, NY, USA: Manning Publications co., 2020, ch. 1, pp. 5–7.
- [10] E. Elrom, "Blockchain Basics" in *The Blockchain Developer*, Berkeley, CA, USA: Springer, 2019, ch. 1, pp. 9.

- [11] D. Yaga, P. Mell, N. Roby and K. Scarfone, "Blockchain technology overview," National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, Montgomery, Rep. NIST IR 8202, 2019, doi: 10.6028/NIST.IR.8202.
- [12] P. Ongkunaruk and R. Pisuchpen, "Let's get to know the account showing the basic process," in *Operations research*, Bangkok, Thailand: Se-Ed Book Center Co., Ltd., 2013, ch. 9, sec. 9.2, pp. 233–243.
- [13] T. Rattanakool, K. Sukkrajang, P. Tucktern and P. Jantavee, "Queuing Analysis on The Payment Point for Electricity of Public Sector A Case Study: Chana District," in *The 8th Hatyai National and International Conference*, Songkhla, Thailand, 2017, pp. 934–947.
- [14] M. Jizba, R. L. Cheu, T. Horak and H. Binova, "Analysis of screening checkpoint operations for transatlantic container transportation," *Journal of Transportation Security*, vol. 8, no. 3, pp. 79–97, 2015, doi: 10.1007/s12198-015-0159-5.
- [15] S. L. Dorton and D. Liu, "Analysis of Airport Security Screening Checkpoints using Discrete Event Simulation," in *Proc. IIE Annual Conference*, Orlando, FL, USA, 2012, p. 1.
- [16] N. mahisanon, *battery use is worth using, durable*, 1st ed. Nonthaburi, Thailand: Core Function, 2019, pp. 116–117.
- [17] Electric vehicle market 2021 will grow, need to increase charging points to cover more (analysis), *marketeeronline.com*, Jan 26, 2022. [Online]. Available: <https://marketeeronline.com/archives/212395>.
- [18] M. U. Javed and N. Javaid, "Scheduling charging of electric vehicles in a secured manner using blockchain technology," in *2019 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT)*, Islamabad, Pakistan, Dec. 16–18, 2019, pp. 2334–3141, doi: 10.1109/FIT47737.2019.00072.
- [19] M. Pustišek, A. Kos, and U. Sedlar, "Blockchain based autonomous selection of electric vehicle charging station," in *2016 international conference on identification, information and knowledge in the Internet of Things (IIKI)*, Beijing, China, Oct 20–21, 2016, pp. 217–222, doi: 10.1109/IIKI.2016.60.
- [20] Rungrat Pisachaphen, "Queuing System Problem" in *the Handbook of Simulation Modeling with ARENA*, Bangkok, Thailand: Se-Ed Book Center Co., Ltd. 2010, ch. 3, pp. 67–70.
- [21] Recargo, Inc. "PlugShare" [pluginincars.com](https://www.pluginincars.com/ev-charging-guide-for-businesses.html). <https://www.pluginincars.com/ev-charging-guide-for-businesses.html> (accessed Aug. 26, 2021).
- [22] Y. Wang, Z. Su, Q. Xu and N. Zhang, "Contract based energy blockchain for secure electric vehicles charging in smart community," in *2018 IEEE 16th Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, 16th Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, 4th Intl Conf on Big Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/DataCom/Cybercides)*, Athens, Greece, 2018, pp. 323–327, doi: 10.1109/DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTec.2018.00062.