

แบบจำลองทั่วไปของเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ด้วยโปรแกรมจำลอง PSIM A Generic Model of Lithium-ion Cell Based on PSIM Simulation Program

เกษม อุทัยไขฟ้า¹ สุภนันท์ ต้นวรรณรักษ์²

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400

Kasem Utaikaifa¹ Supanunt Tunwannarux²

School of Engineering, University of the Thai Chamber of Commerce,

Dindaeng, Bangkok, 10400

E-mail: ¹kasem_uta@utcc.ac.th, ²supanunt_tun@utcc.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนำเสนอแบบจำลองคณิตศาสตร์ของเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนจากโปรแกรมจำลอง PSIM ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ชนิดหนึ่ง แบบจำลองถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของวงจรทางไฟฟ้าและส่วนของการคำนวณด้วยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ แบบจำลองสร้างจากผลสมผสานวงจรไฟฟ้าและสมการทางคณิตศาสตร์เข้าด้วยกันสามารถแสดงภาพการต่อเชื่อมของสัญญาณและอุปกรณ์ไฟฟ้าเข้าด้วยกันทำให้สามารถเข้าใจได้ง่าย เพื่อลดความซับซ้อนของแบบจำลอง ในบทความนี้จะไม่นำผลของอุณหภูมิและสถานะสภาพการใช้งานของเซลล์มาพิจารณา ในบทความนี้สถานะประจุไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่จะถูกคำนวณจากปริพันธ์ของกระแสด้านขาออกของเซลล์เท่านั้น สถานะประจุไฟฟ้าของเซลล์ถูกนำไปใช้ในการคำนวณแรงดันของเซลล์ช่วงเวลาใด ๆ สภาวะพลวัตของแรงดันด้านขาออกของเซลล์แบตเตอรี่จะรับและจ่ายกระแสชนิดไม่ต่อเนื่องคำนวณจากกระแสด้านขาออกที่ถูกกรองด้วยสมการกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับหนึ่ง ความเที่ยงตรงของแบบจำลองแสดงจากระดับแรงดันขณะคายประจุด้วยค่ากระแสคงของผลการทดสอบและผลการจำลอง ในส่วนอื่นของบทความจะนำเสนอเฉพาะผลจำลองของแรงดันที่ขั้วของเซลล์แบตเตอรี่ในสภาวะซึ่งกำหนดขึ้น ได้แก่ การแสดงพลวัตของแรงดันขณะจ่ายกระแสไม่ต่อเนื่อง และแรงดันที่ขั้วของเซลล์แบตเตอรี่ได้รับการอัดประจุ

คำสำคัญ: แบบจำลองทั่วไป ลิเทียมไอออนแบตเตอรี่

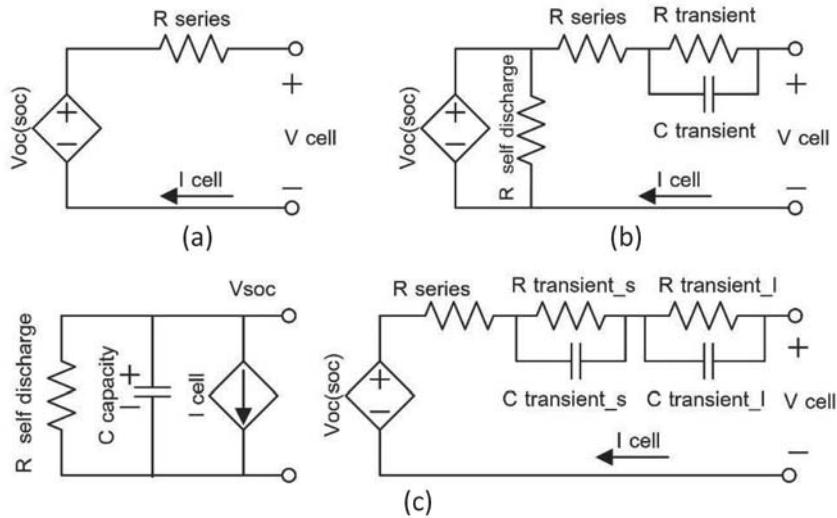
Abstract

The objective of this research are to study (1) generality of breed bird, environment to care bird, foods of bird, birdman training of young bird and the bird practice to sing a song (2) the influence of breed bird, environment to care bird, foods of bird, birdman training of young bird involvement on the bird practice to sing a song. This study was conducted by applying 2 research methodologies with both quantitative and qualitative. With the quantitative approach, questionnaires were used to collect data from 54 birdmen. The data were analyzed by using the descriptive statistics, path analysis. With the qualitative approach, the in-depth interview was conducted with the birdmen including behavioral observation of birdmen and young birds during time course of song training and used to observation of birdmen and young birds during time course of song training and used to observe the behavior during people who practice the bird to sing a song. The results indicated that environment affected to care the bird which have significantly influenced song training of young red-whiskered bulbul.

Keywords: red-whiskered bulbul, the practice to sing a song

1. บทนำ

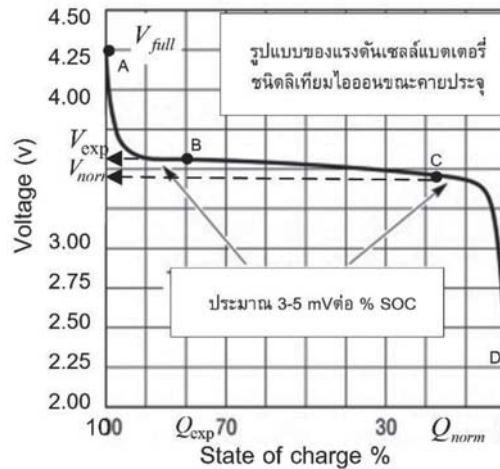
แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนถูกนำมาใช้งานเป็นแหล่งกำลังไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โทรศัพท์มือถือ ยานยนต์ไฟฟ้า หรือระบบผลิตกำลังงานไฟฟ้ามากขึ้นตามลำดับเนื่องจากแบตเตอรี่ซึ่งมีพื้นฐานการทำงานอยู่บนเทคโนโลยีชนิดนี้มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น มีความเข้มของพลังงานและกำลังงานสูง อายุการใช้งานนับจากจำนวนครั้งในการอัดและคายประจุมีค่ามาก มีประจุรั่วไหลและมลพิษต่ำ [9] แบบจำลองของเซลล์แบตเตอรี่อาจแยกออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ แบบจำลองที่สร้างจากสมการไฟฟ้าเคมี ฟังก์ชันคณิตศาสตร์ และวงจรไฟฟ้า แต่เนื่องจากแบบจำลองไฟฟ้าเคมีนั้นมีลักษณะที่ซับซ้อน ใช้เวลายาวนานในการพัฒนาและจำลองผล จึงเหมาะสำหรับงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูงหรือใช้งานเฉพาะกรณี เช่น การออกแบบแบตเตอรี่ชนิดใหม่ เป็นต้น แบบจำลองชนิดที่ 2 และ 3 นั้นมีความซับซ้อนน้อยกว่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งแบบจำลองซึ่งสร้างจากผลการทดสอบ (Empirical model) โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการทดสอบพฤติกรรมของเซลล์แบตเตอรี่มากำหนดค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ทำให้แบบจำลองดังกล่าวจึงถูกนำมาใช้ทำนายพฤติกรรมของเซลล์แบตเตอรี่ในระดับต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง ([1]-[5]) แบบจำลองของเซลล์แบตเตอรี่ยังสามารถสร้างขึ้นจากการผสมผสานกันของสมการคณิตศาสตร์และวงจรไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ แหล่งจ่ายแรงดัน จากฐานข้อมูลของโปรแกรมจำลองผลสำเร็จรูปมาประกอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ ทำให้แบบจำลองชนิดนี้มีความซับซ้อนน้อยและใช้เวลาในการคำนวณต่ำสร้างเป็นวงจรสมมูล นอกจากนี้ ยังสามารถแก้ไขพารามิเตอร์หรือรูปแบบของวงจรได้ง่ายและยังสามารถตรวจสอบสถานะของตัวแปรได้จากรูปสัญญาณของวงจรไฟฟ้า ดังนั้น แบบจำลองชนิดนี้จึงนิยมนำมาใช้ในกระบวนการศึกษาระบบไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า การออกแบบระบบสะสมพลังงาน หรือระบบจัดการพลังงานของแบตเตอรี่ (Battery Management System, BMS) ([1], [6], [7]) ข้อจำกัดประการหนึ่งของแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากกลุ่มข้อมูลที่ได้จากการทดสอบคือผลจำลองจะมีความคลาดเคลื่อนออกไปตามสถานะทำงานที่เปลี่ยนแปลงไป และจะไม่สามารถนำไปใช้ทำนายพฤติกรรมของแบตเตอรี่ชนิดอื่นได้ ลักษณะของแบบจำลองของเซลล์แบตเตอรี่ชนิดต่าง ๆ ที่มีพื้นฐานอยู่บนวงจรไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 1(a) โดยแบบจำลองของเซลล์แบตเตอรี่อย่างง่ายอาจสร้างจากแหล่งจ่ายแรงดันซึ่งต่ออนุกรมกับความต้านทานภายในเท่านั้น แบบจำลองชนิดนี้อาจเพียงพอสำหรับงานบางประเภทและอาจให้ผลที่คลาดเคลื่อนสำหรับงานที่ต้องการความเที่ยงตรงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วความเที่ยงตรงของแบบจำลองมักแลกมาด้วยความซับซ้อนของแบบจำลอง ดังนั้น แบบจำลองเช่นในภาพที่ 1 (b) และ (c) จึงถูกนำเสนอขึ้นสำหรับการศึกษาพฤติกรรมในรายละเอียดด้านต่าง ๆ ของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น ([3], [8], [9])



ภาพที่ 1 แบบจำลองเซลล์แบตเตอรี่ (a) ความต้านทานตัวเดียว
(b) วงจรสมมูลเทวินิน (c) ตามเวลา (runtime-based)

2. คุณสมบัติการจ่ายประจุของเซลล์แบตเตอรี่

แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แบตเตอรี่แต่ละชนิดสร้างได้นั้นจะเป็นไปตามหลักการเคมีไฟฟ้าคือจะขึ้นกับค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าระหว่างชนิดของขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้ อย่างไรก็ตาม ยังมีระดับแรงดันย่อยที่สำคัญต่อการใช้งาน และเป็นข้อมูลเพื่อใช้ในแบบจำลองของเซลล์แบตเตอรี่ ได้แก่ 1. แรงดันขณะเปิดวงจร (Open-circuit voltage, OCV) แรงดันเปิดวงจรเป็นระดับแรงดันขณะมีประจุเต็มและเซลล์ไม่จ่ายกระแสเป็นแรงดันประมาณของแรงดันตามทฤษฎี 2. แรงดันใช้งาน (Nominal voltage, E_0) แรงดันใช้งานเป็นขนาดแรงดันของเซลล์ที่กำหนดโดยผู้ผลิตและจะขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่ เช่น แรงดันใช้งานของเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนมีค่า 3.6 โวลต์ และ 3. แรงดันหยุดทำงาน (Cutoff voltage) แรงดันหยุดทำงานเป็นขีดจำกัดของแรงดันต่ำสุดของการใช้งานแบตเตอรี่โดยไม่แนะนำให้แบตเตอรี่ใช้งานเมื่อแรงดันต่ำกว่าระดับดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ขณะใช้งานแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่จะมีค่าแปรผันไปตามตัวแปรหลายตัว เช่น สถานะของประจุและขนาดของกระแสไฟฟ้าที่รับหรือจ่ายและอุณหภูมิ เป็นต้น ลักษณะของแรงดันที่ชั่วและสถานะประจุของเซลล์แบตเตอรี่ขณะคายประจุแสดงดังภาพที่ 2 โดยกำหนดให้ขณะเริ่มต้นเซลล์มีประจุไฟฟ้า Q สะสมเต็มความจุของเซลล์ จากนั้นเซลล์คายประจุออกด้วยค่ากระแสคงที่ค่า $0.2C$ เมื่อ C หมายถึง ความสามารถในการจ่ายกระแสต่อเนื่องของเซลล์แต่ละตัว ค่า C หาได้จากสมการ $C = \text{พิกัดกระแส(A) / พิกัดความจุ(Ah)}$ กราฟในภาพที่ 2 แสดงให้เห็นถึงระดับแรงดันที่ชั่วซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงตามสถานะประจุไฟฟ้า ได้แก่ ช่วง (1) ช่วง A-B ซึ่งเป็นช่วงที่เซลล์สะสมประจุไฟฟ้าใกล้เต็มความจุ มีลักษณะสำคัญของแรงดันในช่วงนี้ คือ จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของประจุ จึงเรียกช่วงดังกล่าวว่าช่วงเอกซ์โพเนนเชียล (2) ช่วง B-C เป็นช่วงที่การเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อสถานะประจุมีลักษณะค่อนข้างเป็นเชิงเส้นหรือเกือบเป็นเส้นตรงในแนวนอน ซึ่งจะเป็นย่านใช้งานปกติของเซลล์ และ (3) ช่วง C-D เป็นช่วงที่เซลล์มีสถานะประจุต่ำใกล้หมด ขนาดของแรงดันจะลดลงอย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 2 รูปแบบแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนขณะคายประจุด้วยกระแสคงที่

เมื่อมีการจ่ายประจุออก โดยทั่วไปเป็นย่านที่ไม่ถูกใช้งาน การแสดงแกนนอนของภาพด้วยสถานะประจุเป็น 0 ถึง 100 ทำให้คุณลักษณะของแรงดันไม่ขึ้นกับค่าความจุที่แท้จริงของแบตเตอรี่ทำให้สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของเซลล์แบตเตอรี่หลากหลายชนิดได้

จากคุณลักษณะของแรงดันต่อสถานะประจูดังกล่าวทำให้มีการนำเสนอแบบจำลองของเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนออกมาอย่างหลากหลาย รูปแบบหนึ่งที่ได้รับการนิยมนิยม คือ แบบจำลองตามเวลาดังภาพที่ 1(c) ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในบทความนี้ โดยการแบ่งคุณลักษณะตามภาพออกเป็นส่วน ๆ เพื่อการนำมาสร้างด้วยโปรแกรม PSIM ได้ดังภาพที่ 3 แรงดันของเซลล์จะเพิ่มและลดลงแบบแบบขั้นใดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงประจุในช่วง A-B เกิดจากกระบวนการโพลาไรเซชันของเซลล์ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตามประจุไฟฟ้า เกิดขึ้นในช่วงที่แบตเตอรี่มีประจุไฟฟ้าใกล้เต็ม

3. แบบจำลองของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

ลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนแสดงดังภาพที่ 3 นั้นสามารถนำมาจำลองได้ด้วยสมการที่ 1 และ 2

$$SOC = SOC_0 - \int i_{cell} dt \quad (1)$$

$$V_{cell} = E_0 - R \cdot i + A \cdot exp(-B \cdot it) - K \cdot (it + i^*) \quad (2)$$

V_{cell} , i และ R คือ แรงดันที่ขั้ว กระแส และความต้านทานภายในของเซลล์แบตเตอรี่มีหน่วยเป็น V, A และ Ω ตามลำดับ

E_0 คือ ค่าแรงดันคงที่ของเซลล์ (V) แปรผันตามชนิดของเซลล์และสถานะการใช้งาน

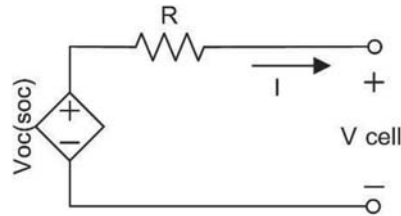
K คือ ค่าคงที่โพลาไรเซชัน (V/(Ah)) แปรผันตามสถานะประจุและการใช้งาน

A คือ ขนาดแรงดันในช่วงเอกซ์โพเนนเชียล (V) โดยมีขนาดเท่ากับ $|V_{full} - V_{cell}|$

B คือ เวลาคงตัวของการเปลี่ยนแปลงช่วงเอกซ์โพเนนเชียล ($1/\text{Ah}$)

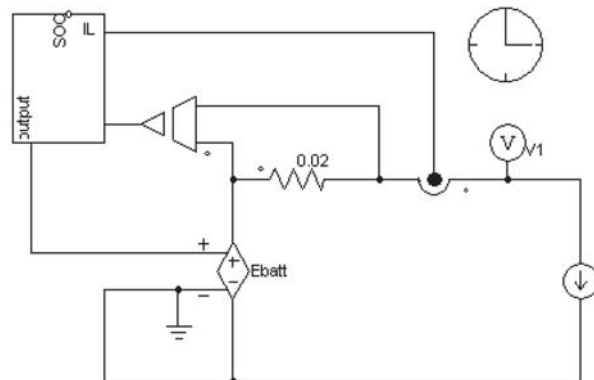
it คือ ประจุที่เซลล์ได้รับหรือจ่ายในแต่ละช่วงเวลา(Ah), $it = 0$ หมายถึง เซลล์มีประจุเต็ม

i^* คือ กระแสที่ถูกกรองด้วยตัวกรองความถี่ชนิดต่ำผ่านซึ่งมีแบนวิธ τ มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

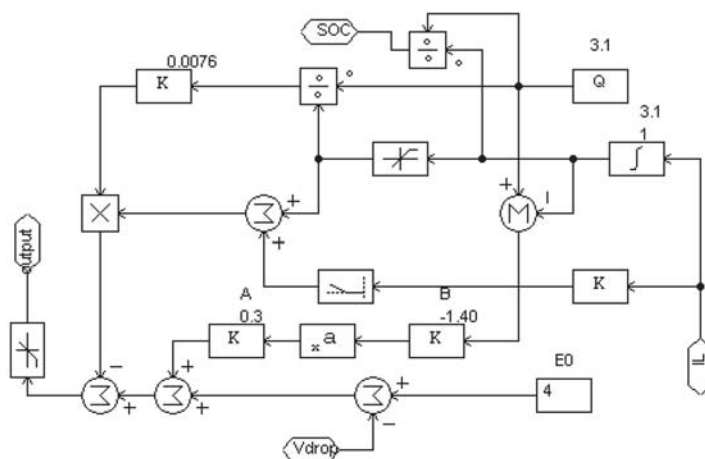


ภาพที่ 3 แบบจำลองเซลล์แบตเตอรี่ที่ใช้งาน

แบบจำลองที่ใช้มีลักษณะดังภาพที่ 3 ประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันซึ่งมีค่าแปรผันตามสถานะประจุของเซลล์อนุกรมกับความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ เพื่อให้แบบจำลองสามารถนำไปใช้งานในระบบขนาดใหญ่ที่ซับซ้อนขึ้นโดยไม่เป็นภาระต่อการคำนวณจึงกำหนดให้ความต้านทานภายในของเซลล์เป็นค่าคงที่ ในขณะที่แรงดันเปิดวงจร V_{voc} จะถูกคำนวณตามสมการที่ 1 นั้นจะหมายถึงการรวมผลของแรงดันซึ่งเกิดจากพจน์ที่ 1, 3 และ 4 ของสมการที่ 2 เข้าด้วยกันในส่วน of แหล่งจ่ายแรงดัน V_{voc} ภาพที่ 4 แสดงวงจรที่สร้างขึ้นจากโปรแกรมจำลองเพื่อทดสอบผลจำลองของแบบจำลองในภาพที่ 3 โดยในส่วนของการคำนวณ สถานะประจุและค่าแรงดันเปิดวงจรซึ่งถูกสร้างด้วยฟังก์ชันสำเร็จรูปของโปรแกรม PSIM เป็นไปตามไดอะแกรมดังภาพที่ 5



ภาพที่ 4 แบบจำลองเซลล์แบตเตอรี่และวงจรการทดสอบ



ภาพที่ 5 โดอะแกรมส่วนการคำนวณค่าแรงดัน V_{oc} ด้วยโปรแกรม PSIM

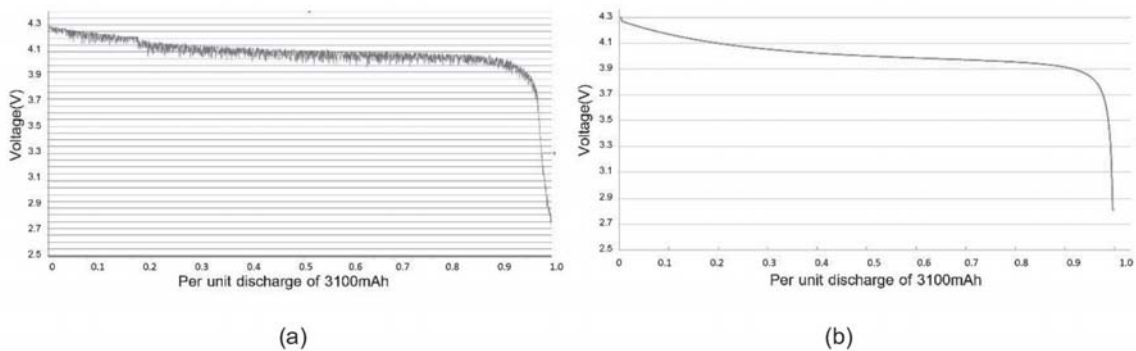
4. การทดสอบและผลจำลอง

เพื่อทดสอบความสามารถในการจำลองผล แรงดันที่ชั่วขณะจ่ายกระแสคงที่ของเซลล์แบตเตอรี่ขนาด พิกัดพลังงาน 3.1 Ah ดังภาพที่ 6(a) ถูกนำมาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลอง พารามิเตอร์ของแบบจำลองแสดงในตารางที่ 1 เซลล์มีการจำลองกำหนดให้เซลล์แบตเตอรี่มีประจุเริ่มต้นเต็มพิกัด 3.1 Ah มีค่าความต้านทานภายในคงที่ 0.02 โอห์ม เนื่องจากพารามิเตอร์บางตัว เช่น τ หรือ K ยากต่อการหาตัวอย่างเที่ยงตรง ดังนั้นค่าที่ใช้ในแบบจำลองนี้จึงใช้ขอเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนจากเอกสารอ้างอิง [2,3] มาใช้งาน ในการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองเบื้องต้นกำหนดให้ เซลล์จ่ายกระแสให้กับโหลดด้วยค่าคงที่เท่ากับ 1 แอมแปร์ ภาพที่ 6(b) แสดงขนาดของแรงดันที่ชั่วที่เปลี่ยนแปลงตามค่าประจุต่อหน่วยของเซลล์ที่เซลล์จ่ายออก เมื่อเปรียบเทียบกราฟในภาพที่ 6(a) ซึ่งได้จากการทดสอบและ 6(b) ซึ่งเป็นผลจำลองแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการจำลองผลที่ดีของแบบจำลองตลอดย่านความจุของแบตเตอรี่ โดยในช่วงแรกที่เซลล์แบตเตอรี่จ่ายกระแสจากสถานะประจุเต็มจะมีอัตราการลดลงของแรงดันที่ชั่วต่ำและมีลักษณะเป็นเชิงเส้น จนเมื่อค่าความจุของเซลล์ต่ำลงจนถึงระดับหนึ่ง (Q) แบบจำลองสามารถทำนายขนาดของแรงดันที่ชั่วของเซลล์ซึ่งลดลงอย่างฉับพลันได้ค่อนข้างเที่ยงตรง

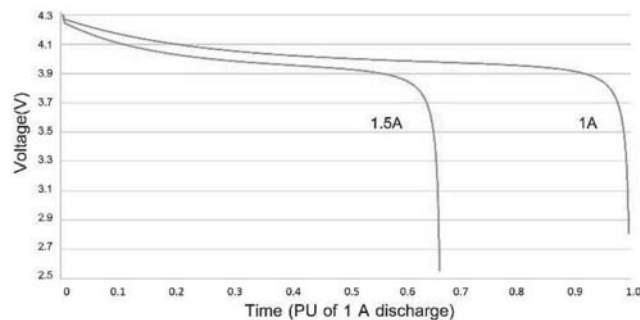
ภาพที่ 7 แสดงผลการจำลองขณะเซลล์แบตเตอรี่จ่ายกระแสคงที่ค่าแตกต่างกัน โดยการกำหนดสภาวะเริ่มต้นของเซลล์ที่ทำการจำลองแต่ละครั้งให้มีสถานะเดียวกันคือมีประจุเต็มพิกัด 3100 mAh ดังนั้น เมื่อเซลล์จ่ายกระแสด้วยค่าต่างกันจะทำให้เซลล์หมดประจุด้วยระยะเวลาที่ต่างกัน ในรูปแสดงการเปรียบเทียบแรงดันที่ชั่วของเซลล์ซึ่งมีค่าเริ่มต้นในสถานะเดียวกันแต่คายประจุออกด้วยกระแสขนาด 1 และ 1.5 แอมแปร์

เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้มีความสามารถในการจำลองพลวัตที่เกิดขึ้นเนื่องจากการจ่ายกระแสแบบไม่ต่อเนื่องหรือมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสแบบทันทีทันใด การจำลองผลกระทำโดยกำหนดให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสที่เซลล์จ่ายออกแบบทันทีทันใดใน 2 ช่วงเวลา จาก 1 แอมแปร์เป็น 2 แอมแปร์ และเมื่อเวลา

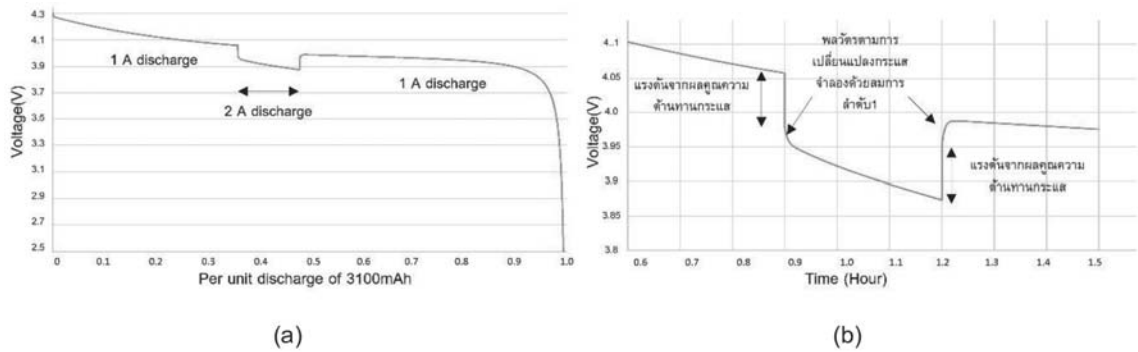
ผ่านไประยะหนึ่งจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดการจ่ายกระแสจาก 2 แอมแปร์กลับมาเป็น 1 แอมแปร์อีกครั้งหนึ่ง ผลที่เกิดขึ้นกับแรงดันที่ขั้วของเซลล์แสดงดังภาพที่ 8(a) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อมีการจ่ายกระแสเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันจะส่งผลให้เกิดแรงดันตกคร่อมความต้านทานภายในของเซลล์ตามผลคูณของกระแสและความต้านทานและซึ่งทำให้เกิดแรงดันที่ขั้วมีค่าลดลงอย่างทันทีทันใดด้วย นอกจากนี้ กระแสที่เพิ่มขึ้นยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันแบบเอกซ์โปเนนเชียล ซึ่งแปรผันตามเวลา โดยแบบจำลองอธิบายปรากฏการณ์นี้ด้วยการนำผลของกระแสที่ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำผ่านมาคำนวณรวม โดยในบทความนี้กำหนดตัวกรองให้มีค่าเวลาคงตัว τ ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 6 (a) แรงดันขณะคายประจุด้วยกระแสคงที่
(b) ผลการจำลองของเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขณะจ่ายกระแสคงที่ 1 แอมแปร์



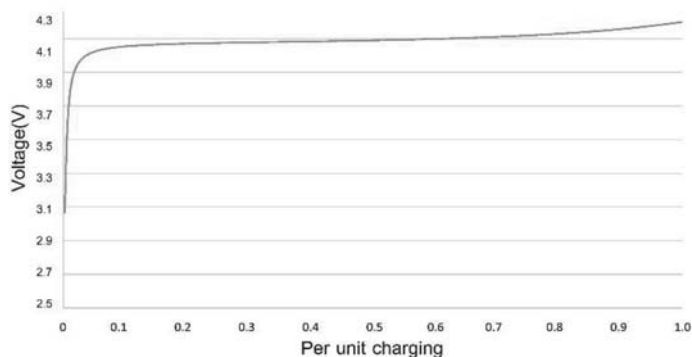
ภาพที่ 7 ผลการจำลองของแรงดันที่ขั้วเซลล์แบตเตอรี่เมื่อจ่ายกระแสคงที่ 1 และ 1.5 แอมแปร์



ภาพที่ 8 (a) แรงดันที่ขั้วเมื่อมีการจ่ายกระแสแบบไม่ต่อเนื่องแบบขั้น
(b) ภาพขยายส่วนของแรงดันช่วงขณะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแส

ภาพที่ 8(b) แสดงภาพขยายของระดับแรงดันซึ่งเกิดขึ้นระหว่างมีการเปลี่ยนแปลงการจ่ายกระแสของแบบจำลองซึ่งเกิดจากผลคูณของความต้านทานและกระแส และผลจากการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของแรงดัน ซึ่งจำลองด้วยสมการลำดับหนึ่งซึ่งมีอัตราขยายขนาดเท่ากับหนึ่งและมีเวลาอยู่ตัวซึ่งกำหนดค่าเวลาคง τ ดังนั้นแบบจำลองชนิดนี้จึงมีศักยภาพในการนำไปใช้จำลองระบบที่มีให้ความสนใจต่อผลซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการจ่ายกระแสของเซลล์แบตเตอรี่ด้วย

โดยการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์เริ่มต้นภายในของแบบจำลองและเครื่องหมายทางคณิตศาสตร์บางส่วนทำให้สามารถนำแบบจำลองที่นำเสนอมาจำลองกระบวนการอัดประจุของเซลล์แบตเตอรี่ได้ จากภาพที่ 9 แสดงผลจำลองของแรงดันที่ขั้วของเซลล์แบตเตอรี่ขณะถูกอัดประจุด้วยค่ากระแสคงที่จากสภาวะไร้ประจุจนถึงระดับที่มีประจุเต็ม จากรูปแสดงให้เห็นกระบวนการสร้างแรงดันในทิศทางผกผันกับกระบวนการคายประจุของเซลล์แบตเตอรี่ซึ่งได้แสดงให้เห็นก่อนหน้านี้ จากความสามารถในการจำลองทั้งสภาวะการคายประจุและการอัดประจุ ทำให้แบบจำลองนี้มีศักยภาพในการนำไปใช้จำลองการทำงานของกระบวนการใด ๆ ที่ประกอบด้วย การอัดและคายประจุซ้ำ ๆ ระหว่างการทำงานได้



ภาพที่ 9 ผลจำลองของแรงดันต่อฟักัดความจุของเซลล์แบตเตอรี่

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของแบบจำลอง

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้งาน
E_0	4.0
K	0.0076
A	0.3
B	1.4
τ	30

5. สรุป

แบบจำลองของเซลล์แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนถูกสร้างขึ้นจากการผสมผสานระหว่างฟังก์ชันคณิตศาสตร์และวงจรไฟฟ้าบนโปรแกรมจำลอง PSIM แบบจำลองนี้เป็นชนิดที่ต้องอาศัยข้อมูลจากการทดสอบ (Empirical test) เซลล์แบตเตอรี่ก่อนหน้านี้ ผลการจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริงในตัวแปรของแรงดันที่ขั้วของเซลล์แบตเตอรี่ที่สถานะประจุต่าง ๆ มีความเที่ยงตรงน่าพอใจ และแสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการนำไปพัฒนาเพื่อใช้ทำนายผลที่แม่นยำมากขึ้นได้ในอนาคต ในบทความนี้ยังได้แสดงการจำลองผลที่เกิดขึ้นจากการจ่ายกระแสค่าคงที่ซึ่งมีขนาดต่างกันซึ่งสามารถนำไปอธิบายระยะเวลาของการใช้งานต่อเนื่องของเซลล์ได้นอกจากนี้ บทความนี้ยังได้แสดงความสามารถในการจำลองลักษณะของแรงดันของเซลล์ซึ่งเกิดจากการจ่ายกระแสไม่ต่อเนื่องซึ่งอาจพบได้ในงานหลายประเภท

แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นบนโปรแกรมจำลอง PSIM นี้มีข้อดี คือ ง่ายต่อการสร้าง การปรับปรุงแก้ไข และการนำไปใช้งาน ใช้เวลาในการจำลองสั้น มีศักยภาพที่จะนำไปใช้งานเป็นส่วนหนึ่งของระบบที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น ระบบการจัดการแบตเตอรี่ (BMS) อย่างไรก็ตาม แบบจำลองและผลจำลองที่แสดงในบทความนี้อยู่บนสมมติฐานและข้อจำกัดหลายประการที่แตกต่างจากสภาพการใช้งานจริงของแบตเตอรี่เพื่อหลีกเลี่ยงความซับซ้อนและเพื่อให้ง่ายต่อการพัฒนาในเบื้องต้น การนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไปจำเป็นต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่าง ๆ เหล่านี้ประกอบการใช้งานเสมอ

เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Alhanouti, M. Giebler, T. Blank and F. Gauterin, “New Electro-Thermal Battery Pack Model of an Electric Vehicle,” *Energies*, 2016.
- [2] M. Ahmed, Modeling Lithium-ion Battery Chargers in PLECS®, Plexim Inc. Application Example. [Online]. Available: https://www.plexim.com/sites/default/files/plecs_lithium_ion_adv.pdf.
- [3] M. Chen, G. A. Rincon-Mora, “An Accurate Electric battery Model Capable of Predicting Runtime and I-V Performance,” *IEEE Tran. On Energy Conversion*, June, 2006, **vol.** 21, pp. 504-511, June 2006.
- [4] L. Giao, S. Liu and R. A. Dougal, “Dynamic lithium-ion battery model for system simulation,” *IEEE Trans. Component and Packaging Technologies*, **vol.** 25, **no.** 3, pp. 495-505, September 2002.
- [5] M. C. Knauff, C. J. Dafis, D. Niebur, H. G. Kwatny, C. O. Nwankpa and J. Metzger, “Simulink Model for Hybrid Power System Test-bed,” *IEEE Electric Ship Technologies Symposium (ESTS)*, May 2007.
- [6] O. Tremblay, L. A. Dessaint, “Experimental Validation of Battery Dynamic Model for EV Application,” *World Electric Vehicle*, **vol.** 3, 2009.
- [7] O. Tremblay, L. A. Dessaint and A. L. Dekkiche “A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles,” *IEEE Vehicle Power and Propulsion (VPPC)*, September 2007.
- [8] L. W. Yao, J. A. Aziz, P. Y. Kong, N. R. N. Idris, “Modeling of Lithium-Ion Battery Using MATLAB/Simulink,” *IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, November 2013.
- [9] X. Zhang, W. Zhang and G. Lei, “A review of Li-ion Battery Equivalent Circuit Models,” *Transactions on electrical and electronic materials*, **vol.** 17, **no.** 6, pp. 311-316, December 2016.