

Received: Aug 14, 2025

Revised: Nov 14 , 2025

Accepted: Dec 5, 2025

การศึกษาผลของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของขั้วลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า

STUDY OF THE EFFECTS OF CARBON BLACK IN EXPANDER ON CAPACITY OF NEGATIVE ELECTRODE IN TRACTION BATTERY

สมศักดิ์ มีนกร¹, วรเทพ ตรีวิจิตร¹, สมจินต์ อักษรธรรม^{1*}, กษิติศ ดาวเรือง¹, ธีระพงษ์ มณีเพ็ญ²

คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธนบุรี¹

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี²

Somsak Meenakorn¹, Woratthep Treewichit¹, Somjin Aksorntham¹, Kasidit Daoruang¹,

Theerapong Maneepen²

Faculty of Engineering, Thonburi University¹

Faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi²

*Corresponding Author, E-mail: somjin072@gmail.com

บทคัดย่อ

วัสดุกระตุ้นเป็นส่วนผสมหลักของขั้วลบมีคุณสมบัติในการเพิ่มค่าความจุและจำนวนรอบต่อการใช้งานประกอบด้วย แบเรียมซัลเฟต (Barium sulfate) โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต (Sodium lignosulfonate) และคาร์บอนแบล็ค (Carbon black) โดยเฉพาะคาร์บอนแบล็คมีหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้ามีผลมาจากคุณสมบัติในการจับกลุ่มของอนุภาคจำนวนมากในลักษณะที่เป็น กิ่งก้านหรือสายโซ่ มีความเป็นรูพรุนสูง อย่างไรก็ตามบทบาทของคาร์บอนแบล็คต่อค่าความจุของขั้วลบแบตเตอรี่รถไฟฟ้ายังไม่ชัดเจนนอกจากนั้นยังไม่ทราบอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่เหมาะสม เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าโดยใช้เครื่อง Auto lab PGSTAT30 (Cyclic Voltammetry) ส่วนการทดสอบโครงสร้างของคาร์บอนแบล็คโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) จากการศึกษาพบว่าค่าความจุของขั้วลบสูงขึ้นเมื่อปริมาณคาร์บอนแบล็คเท่ากับโซเดียมลิกโนซัลโฟเนต ซึ่งปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของโซเดียมลิกโนซัลโฟเนตจะปฏิสัมพันธ์กับคาร์บอนแบล็คจับกัน เป็นกลุ่ม เรียกว่ากลุ่มคาร์บอน-โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต ซึ่งค่าความจุที่สูงขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนแบล็ค โซเดียมลิกโนซัลโฟเนตเท่ากับ 6:6

คำสำคัญ : คาร์บอนแบล็ค, วัสดุกระตุ้น, ค่าความจุ, แบตเตอรี่รถไฟฟ้า

Abstract

The expander materials are the main components of the negative electrode, which have the properties of increasing the capacity and number of cycles per use, and include barium sulfate, sodium lignosulfonate, and carbon black. In particular, carbon black has the function of being an electrical conductor due to its property of aggregating a large number of particles in a branched or chain-like

manner, with high porosity. However, the role of carbon black on the negative terminal capacity of electric vehicle batteries is still unclear, and the optimum weight ratio is also unknown. The testing equipment used includes electrochemical property testing using the cyclic voltammetry (CV), transmission electron microscope (TEM) and scanning electron microscope (SEM) were used to investigate the capacity of the negative electrode and to examine structure of the expander, respectively. From the study, it was also found that capacity of the electrode was high when the amount of carbon black was equal to that of lignosulfonate. This phenomenon is related to the structure of sodium lignosulfonate interacting with carbon black to form groups, called lignosulfonate-carbon black cluster. The maximum capacity was obtained when the weight ratio of carbon black: sodium lignosulfonate is 6:6.

Keywords: Carbon black, Expander materials, Capacity, Traction battery

บทนำ

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นแบตเตอรี่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดมีส่วนแบ่งทางการตลาดมากกว่าครึ่งหนึ่งของตลาดแบตเตอรี่ทั่วไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งแต่ละบริษัทยังคงใช้วัตถุดิบหลักคือตะกั่ว เพื่อทำการผลิตแบตเตอรี่ตะกั่วกรดเนื่องจากวัตถุดิบมีราคาถูกเหมาะสมในเชิงพาณิชย์มากกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ สามารถจัดหาง่ายและมีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนประกอบกับการต้องการส่งเสริมการผลิตแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่มีอยู่ในปัจจุบันให้มีศักยภาพและความเข้มแข็งมากยิ่งขึ้น ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดจะมีข้อดีจากตะกั่วที่มีลักษณะพูน (Pb) ส่วนข้อเสียเป็นตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) โดยมีกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้นเป็นอิเล็กโทรไลต์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ แบตเตอรี่ปฐมภูมิ และแบตเตอรี่ทุติยภูมิ แบตเตอรี่รถไฟฟ้าเป็นแบตเตอรี่ทุติยภูมิที่ใช้เป็นกำลังขับเคลื่อนยานพาหนะที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าในงานอุตสาหกรรมที่หลากหลายอาทิเช่น รถยก รถเข็นวีลแชร์ เรือ และรถไฟใต้ดิน ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าขึ้นอยู่กับอายุการใช้งาน ค่าความจุของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับขนาดของแบตเตอรี่ ซึ่งมีวัสดุผสม (Active materials) เป็นวัสดุส่วนผสมทางเคมีใช้สำหรับฉาบลงบนโครงกริดของขั้วลบ จะทำหน้าที่เป็นวัสดุที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าส่งผลต่อค่าความจุของพลังงาน อายุการใช้งาน เวลาการประจุ เวลาการคายประจุ และความเร็วในการก่อตัวมีองค์ประกอบหลัก ๆ เช่น ผงตะกั่วออกไซด์ (Lead oxide) โยผสม (Dyneal flocked) วัสดุกระตุ้น (Expander materials) กรดกำมะถัน (Sulfuric acid) น้ำกลั่น (Water) และวาสลีน (Vaseline) เป็นต้น

วัสดุกระตุ้นเป็นส่วนผสมหลักของขั้วลบมีคุณสมบัติในการเพิ่มค่าความจุและจำนวนรอบต่อการใช้งานประกอบด้วย แบเรียมซัลเฟต (Barium sulfate) โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต (Sodium lignosulfonate) และคาร์บอนแบล็ค (Carbon black) ซึ่งแบเรียมซัลเฟตมีคุณสมบัติในการเพิ่มค่าความต้านทานต่อการกัดกร่อน โซเดียมลิกโนซัลโฟเนตมีคุณสมบัติในการเพิ่มพื้นที่ผิวและลดอุณหภูมิจากการใช้งาน (Boden D.P. และคณะ, 2014) ส่วนคาร์บอนแบล็คมีหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าหรือสะพานไฟ สามารถนำไฟฟ้าได้ดีมีผลมาจากคุณสมบัติในการจับกลุ่มของอนุภาคจำนวนมากในลักษณะที่เป็นกิ่งก้านหรือสายโซ่ มีความเป็นรูพรุนสูง และคุณภาพในการเกาะกลุ่ม (Aggregate) ซึ่งจะส่งผลต่อการนำไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างของคาร์บอนแบล็คประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่มีความสำคัญ ลักษณะรูปแบบ และจำนวนของอนุภาคเล็ก ๆ ในการรวมตัวเป็นลักษณะการเกาะกลุ่มเข้าด้วยกัน (Atanassova P. และคณะ, 2013) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ Low, Medium และ High structure คาร์บอนแบล็ค ประเภท Low structure การรวมตัวการจับกลุ่มของอนุภาคค่อนข้างน้อยมีขนาดเล็กส่งผลทำให้มีรูปแบบเป็นกิ่งก้านและสายโซ่เป็นท่อนสั้น ๆ ส่วน High structure จะมีลักษณะเฉพาะของการจับกลุ่มกันค่อนข้างมีขนาดใหญ่ส่งผลทำให้มีรูปแบบเป็นกิ่งก้านและสายโซ่ที่ยาวต่อเนื่องมากกว่า ซึ่งคาร์บอนแบล็คแบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะให้ค่าความจุ

และจำนวนรอบจากการใช้งานของขั้วลบเพิ่มขึ้น เมื่อวัสดุกระตุ้นมีปริมาณคาร์บอนแบล็ค (Carbon black) เท่ากับปริมาณลิกโนซัลโฟเนต (Lignosulfonate) (Moseley P.T. และคณะ, 2006)

จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้จะเห็นแนวทางการหาค่าความจุของขั้วลบจากผลของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้น ซึ่งคาร์บอนแบล็คจะช่วยลดการสะสมของตะกั่วซัลเฟตและสร้างโครงข่ายการนำไฟฟ้าบนตะกั่วซัลเฟต ถ้าเพิ่มปริมาณคาร์บอนแบล็คจะทำการกีดขวางการเกิดตะกั่วซัลเฟตในการประจุไฟฟ้า ส่วนโซเดียมลิกโนซัลโฟเนตจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวบนตะกั่วทำให้ค่าความจุเพิ่มขึ้นอยู่ในขอบเขต แต่ถ้าผสมจนเกินขอบเขตจะส่งผลต่อการเพิ่มความหนาของโซเดียมลิกโนซัลโฟเนตบนพื้นที่ผิวของตะกั่วและจะกีดขวางการเคลื่อนย้ายประจุผลที่ตามมาทำให้ค่าความจุลดลง อย่างไรก็ตามบทบาทของคาร์บอนแบล็คต่อค่าความจุของขั้วลบแบตเตอรี่ไฟฟ้ายังไม่ชัดเจนนอกจากนี้ยังไม่ทราบอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่เหมาะสมของธาตุเหล่านั้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจทำการศึกษาค่าความจุของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของขั้วลบในแบตเตอรี่ไฟฟ้า

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาผลของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของขั้วลบในแบตเตอรี่ไฟฟ้า

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัสดุกระตุ้น (Expander materials) จะประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟต (Barium sulfate) โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต (Sodium lignosulfonate) และคาร์บอนแบล็ค (Carbon black) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 แบเรียมซัลเฟต (Barium sulfate) ซึ่งคุณสมบัติของแบเรียมซัลเฟตในการทำปฏิกิริยาเป็นตัวนำซัลเฟตในช่วงแบตเตอรี่ไม่ได้ชาร์จไฟฟ้าสามารถละลายได้ในกรดซัลฟูริกจะทำหน้าที่ในการจับ $PbSO_4$ เพื่อไม่ให้ $PbSO_4$ เกิดเป็นฟิล์มบน Pb

1.2 โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต (Sodium lignosulfonate) ซึ่งคุณสมบัติของโซเดียมลิกโนซัลโฟเนตจะประสานเนื้อวัสดุเพิ่มความต้านทานด้านความร้อนของแผ่นธาตุและเพิ่มอายุของแผ่นธาตุทำหน้าที่ในการจับ Pb เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟิล์มของ $PbSO_4$ เคลือบบน Pb

ตารางที่ 1 การเตรียมวัสดุกระตุ้น (Expander materials)

วัสดุกระตุ้น (Expander materials)	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (Weight ratio)		
	แบเรียมซัลเฟต (Barium sulfate)	โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต (Sodium lignosulfonate)	คาร์บอนแบล็ค (Carbon black)
XE8862	88	6	2
XE8864	88	6	4
XE8866	88	6	6
XE8868	88	6	8
XE88610	88	6	10
XE88612	88	6	12

1.3 คาร์บอนแบล็ค (Carbon black) เป็นชนิดโครงสร้างสูง (High structure) ซึ่งคุณสมบัติของคาร์บอนแบล็คเป็นตัวทำปฏิกิริยาช่วยในการชาร์จไฟฟ้าและดิสชาร์จของแบตเตอรี่ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าหรือสะพานไฟ

2. ขั้นตอนการผสมวัสดุกระตุ้นด้วยเครื่องผสมความเร็วรอบสูง (Bench top mini speed mixers) ใช้ความเร็วรอบการผสม 500 รอบ/นาที และระยะเวลาการผสม 2 นาที สำหรับการเลือกวัสดุกระตุ้นที่ใช้เป็นต้นแบบในการวิจัยครั้งนี้ได้อ้างอิงจาก (Meenakorn S., 2010) ซึ่งขั้นตอนการผสมวัสดุกระตุ้นดังนี้

2.1 เตรียมสารผสมแบเรียมซัลเฟต โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต และคาร์บอนแบล็คชนิดโครงสร้างสูง (High structure)

2.2 นำสารเคมีทั้ง 3 ประเภทที่เตรียมไว้ชั่งน้ำหนักบนเครื่องชั่งดิจิตอล ค่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักตามตารางที่ 1

2.3 ทำการผสมวัสดุกระตุ้นแต่ละสูตรการผลิตจนครบ

3. เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบดังนี้

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการผสมวัสดุกระตุ้นด้วยเครื่องผสมความเร็วรอบสูง (Bench top mini speed mixers) โดยใช้ความเร็วรอบการผสม 500 รอบ/นาที และระยะเวลาการผสม 2 นาที ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักตามตารางที่ 1

3.2 เครื่อง Auto lab PGSTAT30 (Cyclic Voltammetry) เป็นเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของวัสดุกระตุ้นชนิด XE8862, XE8864, XE8866, XE8868, XE88610, XE88612 และ HE115 (Commercial grade) ในการทดสอบจะต้องจัดเตรียมตะกั่วให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ตารางเซนติเมตร การตั้งเครื่องจะต้องตั้งค่าให้อยู่ในช่วง -0.30 ถึง -0.90V อัตราการสแกนอยู่ที่ 20 mV/s ใช้กรดซัลฟูริก 1.25 g-cm^{-3} โดยการเตรียมวัสดุกระตุ้นให้มีความเข้มข้น 20 ppm

3.3 เครื่อง JEOL JEM-2010 TEM (Transmission Electron Microscope) เป็นเครื่องทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน เพื่อทดสอบองค์ประกอบโครงสร้างของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นชนิด XE8866 และ HE115 (Commercial grade)

3.4 เครื่อง FEI Nova Nano SEM450 (Scanning Electron Microscope) เป็นการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อทดสอบโครงสร้างของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นชนิด XE8866

4. การวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าด้วยเครื่อง Auto lab PGSTAT30 (Cyclic Voltammetry) และแปลค่า

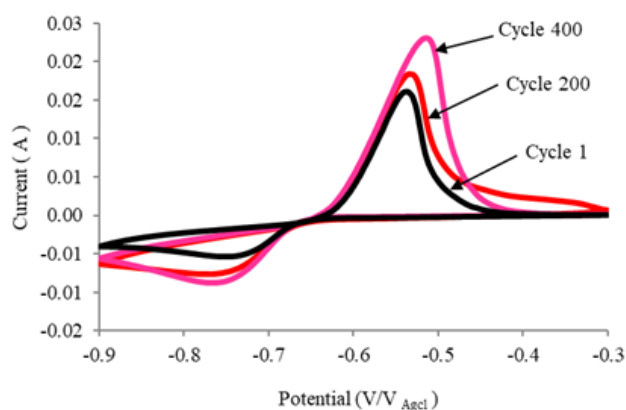
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านด้วยเครื่อง JEOL JEM-2010 TEM (Transmission Electron Microscope) และแปลค่า

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดด้วยเครื่อง FEI Nova Nano SEM450 (Scanning Electron Microscope) และแปลค่า

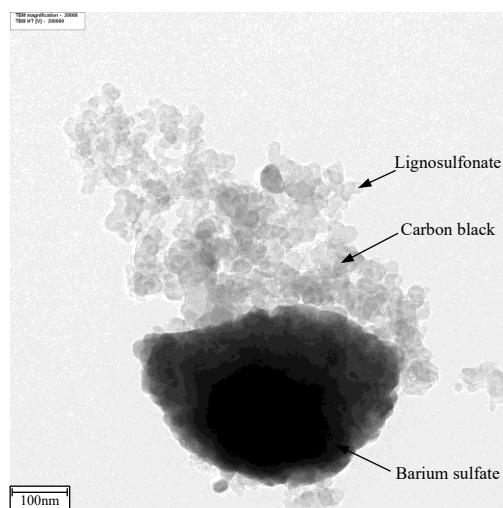
ผลการดำเนินการ

จากการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้า (Cyclic voltammogram) ของตะกั่วบริสุทธิ์ การตั้งค่าอยู่ในช่วง -0.30 ถึง -0.90V อัตราการสแกนอยู่ที่ 20 mV/s ใช้กรดซัลฟูริก 1.25 g-cm^{-3} โดยให้มีความเข้มข้น 20 ppm ของวัสดุกระตุ้นชนิด XE8866 ด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการผสมวัสดุกระตุ้นด้วยเครื่องผสมความเร็วรอบสูง (Bench top mini speed mixers) ประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟต (Barium sulfate) โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต (Sodium lignosulfonate) และคาร์บอนแบล็ค (Carbon black) ในอัตราส่วนผสมความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที และระยะเวลาการผสม 2 นาที จากภาพที่ 1 โซเดียมลิกโน

ซัลโฟเนตและคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นจะส่งผลต่อค่าความจุที่สูงขึ้นจากจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าของขั้วบวก สูงเพิ่มขึ้นจากการขยายตัวของกระแสไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มศักยภาพนำไปสู่ค่าความจุที่สูงขึ้น



ภาพที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้า (Cyclic voltammogram) ของตะกั่วบรสิทุธ์ การตั้งค่าอยู่ในช่วง -0.30 ถึง -0.90V อัตราการสแกนอยู่ที่ 20 mV/s ใช้กรดซัลฟูริก 1.25 g·cm⁻³ โดยให้ความเข้มข้น 20 ppm ของวัสดุกระตุ้น XE8866

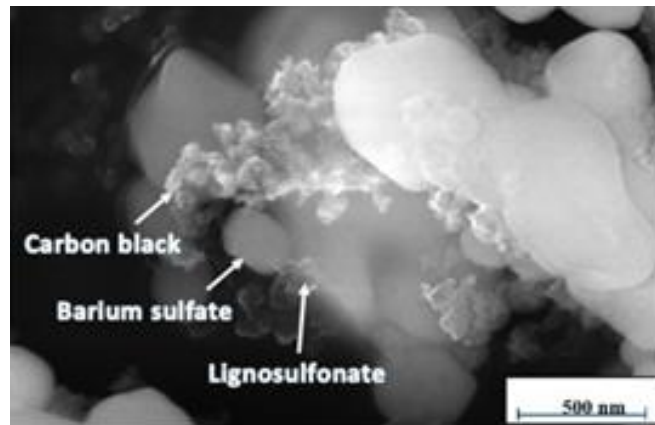


ภาพที่ 2 การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope) วัสดุกระตุ้น XE8866

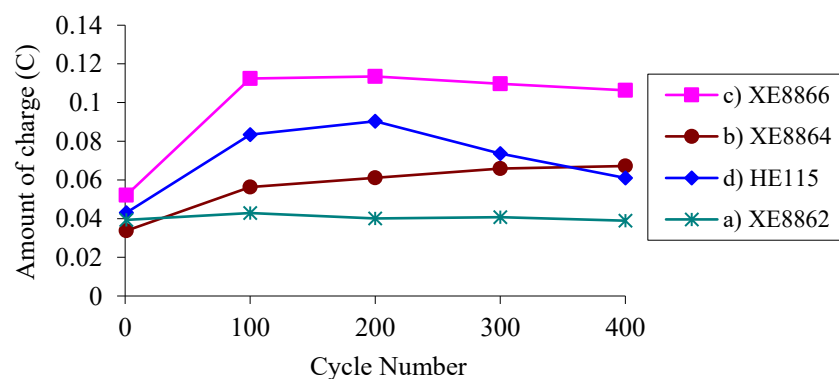
จากภาพที่ 2 การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope) ของวัสดุกระตุ้น XE8866 ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบโครงสร้างของวัสดุกระตุ้นพบว่า วัสดุสีดำเป็นแบเรียมซัลเฟต กลุ่มสีเทาเป็นคาร์บอนแบล็ค และกลุ่มสีเทาบาง ๆ เป็นโซเดียมลิทโนซัลโฟเนต การจับกันเป็นกลุ่มจะมีขนาดแตกต่างกัน

จากภาพที่ 3 การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) วัสดุกระตุ้น XE8866 ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบโครงสร้างของวัสดุกระตุ้นพบว่า แบเรียมซัลเฟตและโซเดียมลิทโนซัลโฟเนตถูก

เคลือบด้วยคาร์บอนแบล็ค ซึ่งโซเดียมลิกโนซัลโฟเนตจะปฏิสัมพันธ์กับคาร์บอนแบล็คจับกันเป็นกลุ่ม เรียกว่ากลุ่มคาร์บอน-โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต

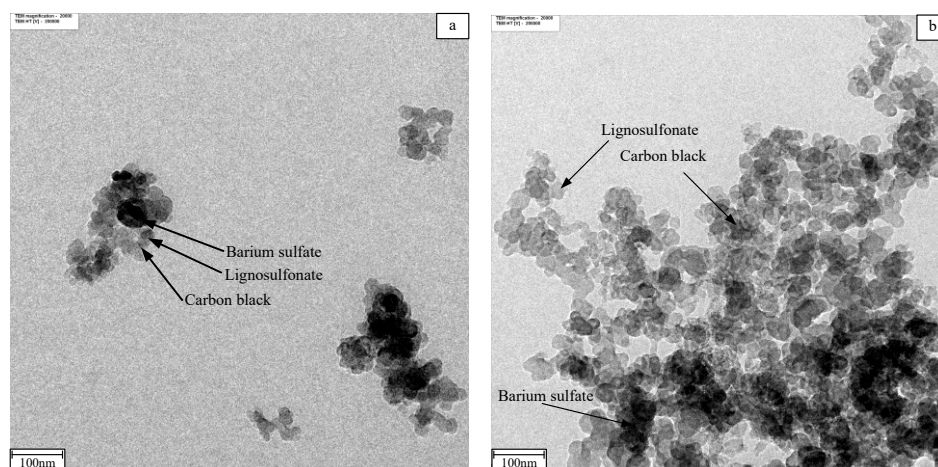


ภาพที่ 3 การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)
วัสดุกระตุ้น XE8866



ภาพที่ 4 ปริมาณประจุและจำนวนรอบของตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด 1.25 g-cm^{-3} ในกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 20 ppm
ของวัสดุกระตุ้น a) XE8862, b) XE8864, c) XE8866, and d) HE115 (commercial expander)

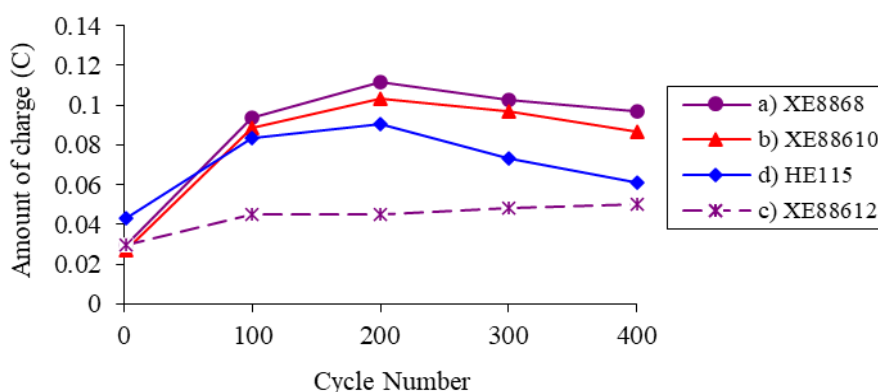
จากภาพที่ 4 ปริมาณประจุและจำนวนรอบจากผลของคาร์บอนแบล็คต่อค่าความจุของขั้วลบ เมื่อปริมาณแบเรียมซัลเฟตมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 88 และโซเดียมลิกโนซัลโฟเนตในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 6 ซึ่งเป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนักคงที่ จะเห็นได้ว่าค่าความจุสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณของคาร์บอนแบล็คเพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนแบล็คน้อยที่สุดเท่ากับ 6 จะมีค่าความจุสูงกว่าวัสดุกระตุ้น HE115



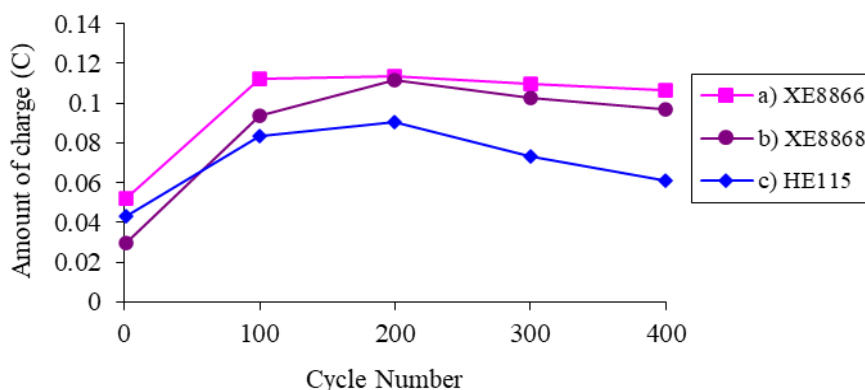
ภาพที่ 5 การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope) ของวัสดุกระตุ้น (a) HE115 และ (b) XE8866

จากภาพที่ 5 การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope) ของวัสดุกระตุ้น HE115 และ XE8866 พบว่าโครงสร้างของวัสดุกระตุ้น XE8866 มีการจับกันเป็นกลุ่ม ซึ่งโซเดียมลิกโนซัลโฟเนตจะปฏิสัมพันธ์กับคาร์บอนแบล็คจับกันเป็นกลุ่ม เรียกว่ากลุ่มคาร์บอน-โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต ส่วนโครงสร้างวัสดุกระตุ้น HE115 จะมีโครงสร้างการจับกลุ่มคาร์บอน-โซเดียมลิกโนซัลโฟเนตที่เล็กกว่าจากการเปรียบเทียบกับ XE8866

จากภาพที่ 6 ปริมาณประจุและจำนวนรอบจากผลของคาร์บอนแบล็คต่อค่าความจุของขั้วลบ พบว่าปริมาณของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้น XE8868 และ XE88610 ส่งผลต่อค่าความจุของขั้วลบโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ จะเห็นได้ว่าค่าความจุเมื่อมีปริมาณของคาร์บอนแบล็คน้อยที่สุดเท่ากับ 8 จะมีค่าความจุสูงกว่าวัสดุกระตุ้น HE115 เมื่อมีปริมาณของแบเรียมซัลเฟตและโซเดียมลิกโนซัลโฟเนตในอัตราส่วนโดยน้ำหนักคงที่ 88 และ 6 ตามลำดับ



ภาพที่ 6 ปริมาณประจุและจำนวนรอบของตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด 1.25 g-cm^{-3} ในกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 20 ppm ของวัสดุกระตุ้น a) XE8868, b) XE88610, c) XE88612, and d) HE115 (commercial expander)



ภาพที่ 7 ปริมาณประจุและจำนวนรอบของตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด 1.25 g-cm^{-3} ในกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 20 ppm ของวัสดุกระตุ้น a) XE8866, b) XE8868, and c) HE115 (commercial expander)

จากภาพที่ 7 ปริมาณประจุและจำนวนรอบจากผลของคาร์บอนแบล็คต่อค่าความจุของขั้วลบ พบว่าค่าความจุของขั้วลบในวัสดุกระตุ้น XE8866 และ XE8868 ให้ค่าความจุของขั้วลบใกล้เคียงกัน โดยความเสถียรของการประจุไฟฟ้าของขั้วลบมีพฤติกรรมคล้ายคลึงกัน ซึ่งค่าความจุของขั้วลบสูงสุดอยู่ในช่วง 200 รอบ หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลง อย่างไรก็ตามค่าความจุของวัสดุกระตุ้น XE8866 จะสูงมากกว่าวัสดุกระตุ้น XE8868 เล็กน้อยหลังจากอยู่ในช่วง 200 รอบขึ้นไป ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าความจุเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนแบล็คที่ถูกจำกัดไว้ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 6 ซึ่งจะต้องเท่ากับปริมาณโซเดียมลิเทียมลิโธฟอสเฟต

สรุปผลและการอภิปราย

จากการศึกษาผลของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของขั้วลบในแบตเตอรี่รีไฟฟ้ จากผลการวิเคราะห์ปริมาณประจุและจำนวนรอบของตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด 1.25 g-cm^{-3} ในกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 20 ppm ของวัสดุกระตุ้น XE8862, XE8864, XE8866, XE8868, XE88610, XE88612 และ HE115 (commercial expander) แต่ละชนิดให้ค่าความจุแตกต่างกัน ซึ่งสามารถอภิปรายได้ดังนี้

ผลของคาร์บอนแบล็คต่อค่าความจุของขั้วลบ จากภาพที่ 4 ซึ่งอัตราส่วนโดยน้ำหนักมีค่าคงที่ เมื่อปริมาณแบเรียมซัลเฟตมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 88 และโซเดียมลิเทียมลิโธฟอสเฟตในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 6 พบว่าค่าความจุของขั้วลบเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณของคาร์บอนแบล็คในอัตราส่วนโดยน้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 6 จะให้ค่าความจุของขั้วลบสูงกว่าวัสดุกระตุ้น HE115 จะเห็นได้ว่าคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นจะปรับปรุงคุณสมบัติการนำไฟฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Abhishek J. และ คณะ, (2015) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับบทบาทของคาร์บอนในแผ่นลบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด พบว่าคาร์บอนแบล็คจะสร้างโครงข่ายการนำไฟฟ้าบนตะกั่วซัลเฟต และช่วยปรับปรุงความสามารถการประจุไฟฟ้าในแผ่นธาตุลบ และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Hai-Yan Hu และคณะ, (2019) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดกำลังขับเคลื่อนด้วยสารเติมแต่งคาร์บอนแบล็ค พบว่าผลของคาร์บอนแบล็คในขั้วลบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดมีผลต่อประสิทธิภาพการคายประจุ และอายุการใช้งานยาวนาน ซึ่งประสิทธิภาพคาร์บอนแบล็คเป็นผลมาจากพื้นที่ผิวของคาร์บอนแบล็คจะช่วยยับยั้งการเกิดตะกั่วซัลเฟตบนพื้นที่ผิวขั้วลบได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังช่วยปรับปรุงการรับประจุของแบตเตอรี่ ซึ่งจากการทดสอบ โวลแทมเมตรี (CV) ของวัสดุกระตุ้น XE8866 จะให้ค่าความจุสูงกว่าวัสดุกระตุ้น

HE115 สามารถอธิบายได้จากโครงสร้างของวัสดุกระตุ้น จากภาพที่ 5 การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) จากการหาความสัมพันธ์ของโครงสร้างวัสดุกระตุ้น พบว่าวัสดุสีดำเป็นแบเรียมซิลเฟต กลุ่มสีเทาเป็นคาร์บอนแบล็ค และกลุ่มสีเทาบาง ๆ เป็นโซเดียมลิเทียมโพลีเมอร์ โครงสร้างวัสดุมีการจับกันเป็นกลุ่ม ซึ่งโซเดียมลิเทียมโพลีเมอร์จะปฏิสัมพันธ์กับคาร์บอนแบล็คจับกันเป็นกลุ่ม เรียกว่ากลุ่มคาร์บอน-โซเดียมลิเทียมโพลีเมอร์ ส่วนโครงสร้างวัสดุ HE115 จะมีโครงสร้างการจับกลุ่มคาร์บอน-โซเดียมลิเทียมโพลีเมอร์ที่เล็กกว่าวัสดุกระตุ้น XE8866 ซึ่งจากการจับกลุ่มคาร์บอน-โซเดียมลิเทียมโพลีเมอร์ที่มีขนาดใหญ่และพื้นที่ที่มากกว่าจะส่งผลทำให้สามารถจัดเก็บค่าความจุได้ดีกว่า

ผลของคาร์บอนแบล็คต่อค่าความจุของขั้วลบ จากภาพที่ 6 ซึ่งปริมาณของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้น XE8868 และ XE88610 ส่งผลต่อพฤติกรรมและค่าความจุของขั้วลบใกล้เคียงกัน โดยให้ค่าความจุเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณของคาร์บอนแบล็ค น้อยสุดเท่ากับ 8 มีค่าความจุสูงกว่าวัสดุกระตุ้น HE115 เมื่อปริมาณของแบเรียมซิลเฟตและโซเดียมลิเทียมโพลีเมอร์ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่ 88 และ 6 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นจะปรับปรุงคุณสมบัติการนำไฟฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Xuesong L. และคณะ, (2024) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของคาร์บอนแบล็คต่อการนำไฟฟ้าและสารเหนี่ยวนำไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน พบว่าการลดปริมาณสารเติมแต่งที่นำไฟฟ้าคาร์บอนแบล็คเป็นสารเติมแต่งสำคัญต่อการนำไฟฟ้าในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน แม้ว่าจะมีสัดส่วนเพียง 5-8% ของมวลอิเล็กโทรดก็ตาม คาร์บอนแบล็คก็มีอิทธิพลอย่างมากต่อการนำไฟฟ้าบนพื้นที่ผิวจะส่งผลอย่างมากต่อโครงสร้าง รูพรุน และสภาพการนำไฟฟ้าอิเล็กโทรดในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Hiral N. และคณะ, (2004) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของการเพิ่มเติมปริมาณคาร์บอนแบล็คมากเกินขอบเขตจะส่งผลทำให้ค่าความจุลดลง พบว่าการเพิ่มเติมปริมาณคาร์บอนแบล็คมากเกินขอบเขตทำให้เกิดการอุดตันของวัสดุกระตุ้น ซึ่งปริมาณของคาร์บอนแบล็คอาจไปเพิ่มจำนวนการสร้างโครงข่ายการนำไฟฟ้าบนพื้นผิวของอนุภาคตะกั่วและเกิดการกีดขวางการถ่ายโอนประจุ จึงส่งผลทำให้ค่าความจุของขั้วลบลดลง

ผลของคาร์บอนแบล็คต่อค่าความจุของขั้วลบ จากภาพที่ 7 ซึ่งปริมาณของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้น XE8866 และ XE8868 ส่งผลต่อพฤติกรรมและค่าความจุของขั้วลบใกล้เคียงกัน พบว่าค่าความจุของขั้วลบเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณของคาร์บอนแบล็คในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 6 จะให้ค่าความจุของขั้วลบสูงกว่าวัสดุกระตุ้น HE115 จะเห็นได้ว่าคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นจะปรับปรุงคุณสมบัติการนำไฟฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Boden D.P. และคณะ, (2014) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุกระตุ้นของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด พบว่าวัสดุกระตุ้นประกอบด้วยคาร์บอนแบล็คในปริมาณที่มีความเข้มข้นสูงถึง 6% จะส่งผลต่อการลดลงของการสะสมตะกั่วซิลเฟตบนพื้นผิวของขั้วลบในระหว่างการทำงานของแบตเตอรี่ และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Blecua M. และคณะ, (2017) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของวัสดุคาร์บอนและลิเทียมโพลีเมอร์ในวัสดุกระตุ้นของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสำหรับยานยนต์ไฮบริด พบว่าสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุกระตุ้น ได้แก่คาร์บอนแบล็ค และโซเดียมลิเทียมโพลีเมอร์จะปรับปรุงจำนวนรอบจากการใช้งานเพื่อช่วยชะลอการเกิดตะกั่วซิลเฟตในขั้วลบ ซึ่งยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Xuesong L. และคณะ, (2024) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของคาร์บอนแบล็คต่อการนำไฟฟ้าและสารเหนี่ยวนำไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน พบว่าการลดปริมาณสารเติมแต่งที่นำไฟฟ้าคาร์บอนแบล็คเป็นสารเติมแต่งสำคัญต่อการนำไฟฟ้าในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน แม้ว่าจะมีสัดส่วนเพียง 5-8% ของมวลอิเล็กโทรดก็ตาม คาร์บอนแบล็คก็มีอิทธิพลอย่างมากต่อการนำไฟฟ้าบนพื้นที่ผิวจะส่งผลอย่างมากต่อโครงสร้าง รูพรุน และสภาพการนำไฟฟ้าอิเล็กโทรดในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ส่วนผลการศึกษาของ McNally T.J. และคณะ, (2003) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุกระตุ้นอย่างเหมาะสมในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด พบว่าวัสดุกระตุ้นส่งผลต่อประสิทธิภาพในแผ่นธาตุลบ ควรมีปริมาณคาร์บอนแบล็คเท่ากับโซเดียมลิเทียมโพลีเมอร์ ดังนั้นค่าความจุที่สูงขึ้นนั้นเมื่อมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนแบล็ค โซเดียมลิเทียมโพลีเมอร์เท่ากับ 6:6

ผลของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของขั้วลบในแบตเตอรี่ไฟฟ้า จากผลการวิเคราะห์ปริมาณประจุและจำนวนรอบของตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด 1.25 g-cm^{-3} ในกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 20 ppm ของวัสดุกระตุ้นแต่ละชนิดให้ค่าความจุแตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบวัสดุกระตุ้นแต่ละชนิด พบว่าคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นส่งผลต่อค่าความจุของขั้วลบในแบตเตอรี่ไฟฟ้าสูงขึ้น เมื่อมีปริมาณคาร์บอนแบล็คเท่ากับโซเดียมลิกโนซัลโฟเนต โดยที่ปริมาณคาร์บอนแบล็คและโซเดียมลิกโนซัลโฟเนตจะต้องมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 6:6

จากการศึกษาผลของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของขั้วลบในแบตเตอรี่ไฟฟ้า ซึ่งวัสดุกระตุ้นเป็นส่วนผสมหลักของขั้วลบมีคุณสมบัติในการเพิ่มค่าความจุและจำนวนรอบต่อการใช้งานจะต้องประกอบด้วย แบเรียมซัลเฟต (Barium sulfate) โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต (Sodium lignosulfonate) และคาร์บอนแบล็ค (Carbon black) ในการใช้งานจริงควรมีส่วนผสมอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 88:6:6 ตามลำดับ จึงจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการคายประจุ อายุการใช้งาน การยับยั้งการเกิดตะกั่วซัลเฟตบนพื้นผิวขั้วลบ และยังปรับปรุงการรับประจุของแบตเตอรี่

จากการศึกษาผลของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของขั้วลบในแบตเตอรี่ไฟฟ้า คาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นมีผลต่อค่าความจุของขั้วลบ ซึ่งคาร์บอนแบล็คมีด้วยกันหลายประเภทแต่ละประเภทมีคุณสมบัติที่ต่างกันทางผู้ทำการศึกษาเห็นควรที่จะนำคาร์บอนแบล็คแต่ละประเภทมาทำการเปรียบเทียบ โดยกำหนดค่าในการผสมวัสดุกระตุ้นด้วยเครื่องผสมความเร็วรอบสูง (Bench top mini speed mixers) ใช้ความเร็วรอบการผสม 500 รอบ/นาที และระยะเวลาการผสม 2 นาที เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติในการเพิ่มค่าความจุและจำนวนรอบต่อการใช้งานของแบตเตอรี่ไฟฟ้า

ข้อเสนอแนะ

การศึกษามูลของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของขั้วลบในแบตเตอรี่ไฟฟ้า ซึ่งทางผู้วิจัยได้เสนอแนะงานวิจัยครั้งต่อไปอันได้แก่ การศึกษามูลของคาร์บอนแบล็คต่อค่าความจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบการคายประจุต่อเนื่อง

กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้จัดทำรายงานการวิจัยการศึกษามูลของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของขั้วลบในแบตเตอรี่ไฟฟ้าขอกราบขอบพระคุณผู้บริหารของทางมหาวิทยาลัยธนบุรีที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Atanassova, P., Blizanac B., Koehlert, K.C., Moeser, G.D., Oljaca, M., Sun, Y., Pierre, D., Sawrey, J.S. (2013). Carbon Blacks and Use in Electrodes for Lead Acid Batteries. *International Application Published Under The Patent Cooperation Treaty*, Publication No. WO 2013/096784 A1, 1-22.
- Abhishek. J., Subhas, C., Chalasani. (2015). The Role of Carbon in the Negative Plate of the Lead-Acid Battery. *J Energy S* 2015, 1, 15-21.
- Boden D.P. (2014). Expanders for lead-acid batteries. United States Patent. *Publication No.* 2014/8,637,183, 1-13

- Blecua, M., Fatas, E., Ocon, P., Valenciano, J., de la Fuente, F., Trinidad, F. (2017). Influences of Carbon Materials and Lignosulfonates in the Negative Active Material of Lead-Acid Batteries for Microhybrid Vehicles. *J Energy S* 2017, 11, 55-63.
- Hai-Yan, Hu., Ning, Xie., Chen, Wang. (2019). Enhancing the Performance of Motive Power Lead-Acid Batteries by High Surface Area Carbon Black Additives. *J Appl S* 2019, 186, 1-13.
- Hirai, N., Tabayashi, D., Shiota, M., Tanaka. (2004). In Situ Electrochemical Atomic force Microscopy of Lead Electrodes in Sulfuric Acid Solution with or Without Lignin During Anodic Oxidation and Cathodic Reduction. *J. Power S* 2004, 133, 32.
- McNally, T., Klang, J. (2003). Benefit of Increasing the Organic Expander Dosage on the High Temperature Performance of the Negative Electrode of Lead-Acid. *J Power S* 2003, 116, 47-52.
- Moseley, P.T., Nelson, R.F., Hollenkamp, A.F. (2006). The Role of Carbon in Valve Regulated Lead Acid Battery Technology. *J Power S* 2006, 157, 3-10.
- Meenakorn, S., Termsuksawad, P., Phiboomkulsumrit, S., and Chailapakul, O. (2010). Effects of Carbon Back and Mixing Parameters on Capacity of Expander. *PACCON2010*, 679-682.
- Xuesong, L., Guo, J. L., James, P., Ruihuan, G., Milan, K., Rachel, M. S., Denis, C. (2024). Effect of Carbon Blacks on Electrical Conduction and Conductive Binder Domain of Next-Generation Lithium-ion Batteries. *J Power S* 2024, 592, 1-15.