

Received: Jan 28, 2024

Revised: Jun 27, 2024

Accepted: Jun 29, 2024

---

## การศึกษาอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า STUDY OF THE MIXING RATIO OF EXPANDER MATERIALS ON CAPACITY OF NEGATIVE PLATE IN TRACTION BATTERY

สมศักดิ์ มีนกร, สมจินต์ อักษรธรรม, วรเทพ ตรีวิจิตร\*, เถลิง พลเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธนบุรี

Somsak Meenakorn, Somjin Aksorntham, Worathep Treewichit,

Thaloeng Poljaroen

Faculty of Engineering, Thonburi University

E-mail : somsak\_me@hotmail.com, somjin072@gmail.com

\*worathep@thonburi-u.ac.th thaloeng@thonburi-u.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า โดยใช้เครื่อง Auto lab PGSTAT30 (Cyclic Voltammetry) เป็นเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าจากการศึกษาพบว่า การผสมคาร์บอนแบล็คด้วยความเร็วรอบและระยะเวลาแตกต่างกันส่งผลต่อค่าความจุของวัสดุกระตุ้นแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุกระตุ้น XE500-02 และ N220500-10 จะให้ค่าความจุสูงกว่าจากการเปรียบเทียบกับวัสดุกระตุ้น HE115 โดยให้ค่าความจุที่สูงกว่าในรอบที่ 300 ขึ้นไป

**คำสำคัญ:** วัสดุกระตุ้น, ค่าความจุ, แผ่นธาตุลบ

### Abstract

The purpose of this research article is to study the mixing ratio of expander materials on capacity of negative plate in traction battery. Using the Auto lab PGSTAT30 (Cyclic Voltammetry) as a tester for electrochemical properties. From the study, it was found that mixing carbon black with different rotational speeds and durations have different effects on the capacitance value of the stimulating material. In particular, the XE500-02 and N220500-10 actuators have higher capacitance values compared to the HE115 actuator, with higher capacitances in cycles of 300 and above.

**Keywords:** expander materials, capacity, negative plate

## บทนำ

การที่ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตและศูนย์กลางการส่งออกรถยนต์ของเอเชีย ซึ่งผลดีที่ตามมาก็คือการเกิดอุตสาหกรรม การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์และอุตสาหกรรมเชื่อมโยงที่เกี่ยวข้อง เช่น แบตเตอรี่ยานยนต์เป็นสิ่งที่อยู่คู่กับอุตสาหกรรมยานยนต์ ประเทศไทยจำเป็นต้องนำเข้าแบตเตอรี่ยานยนต์จำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตแบตเตอรี่รถไฟฟ้าในประเทศไทยมีการ ผลิตน้อยมากส่วนใหญ่เป็นการนำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งแบตเตอรี่รถไฟฟ้ามีข้อดีที่ต้องทำ การแก้ไขในเรื่องความจุของพลังงานต่อปริมาตรค่อนข้างน้อยและเวลาในการประจุแบตเตอรี่แต่ละครั้งใช้เวลานาน จึงทำให้ แบตเตอรี่รถไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการในการใช้งาน การพัฒนาแบตเตอรี่รถไฟฟ้าให้มีสมบัติอายุการใช้งานที่ดีขึ้นนั้น จากการศึกษาพบว่าอายุการใช้งานของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ได้แก่ การดูแลรักษา สภาพแวดล้อม โครงรองรับ และอุณหภูมิขณะใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการดูแลรักษา สภาพแวดล้อม และโครงรองรับนั้นสามารถดำเนินการควบคุมได้ ส่วนอุณหภูมิขณะใช้งานของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าไม่สามารถดำเนินการควบคุมได้ เนื่องจากขึ้นอยู่กับความถี่ต่อการใช้งานของ แบตเตอรี่รถไฟฟ้าแต่ละครั้งจะส่งผลต่อค่าความจุพลังงานต่อหน่วย

สำหรับการศึกษาอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามลำดับดังนี้

Francia C. และคณะ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของวัสดุกระตุ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้า พบว่า ลักษณะเฉพาะของวัสดุกระตุ้นจากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งประสิทธิภาพของวัสดุ กระตุ้นแตกต่างกัน ผลมาจากการผสมวัสดุลิโนซัลโฟเนต (Lignosulfonate) ซึ่งวัสดุลิโนซัลโฟเนตมีคุณสมบัติในการเพิ่มความต้านทานด้านความร้อนของแผ่นธาตุลบ และเพิ่มอายุของแผ่นธาตุลบ โดยจะทำหน้าที่ในการจับ Pb เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟิล์มของ  $PbSO_4$  เคลือบบน Pb จะเห็นได้ว่าวัสดุกระตุ้นในแผ่นธาตุลบเป็นองค์ประกอบที่มีความซับซ้อนในการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและเคมีไฟฟ้า จึงมีความสำคัญและความจำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงทำให้ดีขึ้น เพื่อส่งผลทำให้วัสดุกระตุ้นมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Francia C. และคณะ, 2001)

Saez F. และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของวัสดุกระตุ้นที่แตกต่างกันในแผ่นธาตุลบต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดเซลล์เดียว พบว่า จากตัวอย่าง 7 ตัวอย่างเลือกมา 3 ตัวอย่างมีความเข้มข้นของวัสดุผสม 0.2 % ของวัสดุ กระตุ้น ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนแบล็ค (Barium sulfate) และแบเรียมซัลเฟตจากการทดสอบ ซึ่งผลแตกต่างที่ได้จากการคาย ประจุของแบตเตอรี่ที่ 10 – 13 % พบว่า ค่าความจุของแบตเตอรี่มีความแตกต่างกัน ผลของจำนวนรอบจากการใช้งานขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของคาร์บอนแบล็คและแบเรียมซัลเฟตในวัสดุกระตุ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มปริมาณ ของคาร์บอนแบล็คผลที่ตามมาจะส่งผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพต่อค่าความจุและจำนวนรอบจากการใช้งานของแบตเตอรี่ ตะกั่วกรด (Saez F. และคณะ, 2001)

Boden D.P. ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุกระตุ้นแบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะทำการปรับปรุงช่วงระยะเวลาเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พบว่าวัสดุกระตุ้นของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟต ลิกโนซัลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค (Carbon black) ซึ่งแบเรียมซัลเฟตมีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยาเป็นตัวนำซัลเฟตในช่วงแบตเตอรี่ไม่ได้ชาร์จไฟฟ้าสามารถละลายได้ในกรดซัลฟูริก จะทำหน้าที่ในการจับตะกั่วซัลเฟต ( $PbSO_4$ ) เพื่อไม่ให้ตะกั่วซัลเฟต ( $PbSO_4$ ) เกิดเป็นฟิล์มบนตะกั่ว (Pb) ลิกโนซัลโฟเนตมี คุณสมบัติจะประสานเนื้อวัสดุ เพิ่มความต้านทานด้านความร้อนของแผ่นธาตุและเพิ่มอายุของแผ่นธาตุลบ จะทำหน้าที่ในการจับ

ตะกั่ว (Pb) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟิล์มของตะกั่วซัลเฟต ( $PbSO_4$ ) เคลือบบนตะกั่ว (Pb) โดยเฉพาะอย่างยิ่งลิกโนซัลโฟเนตจะเพิ่มพื้นที่ผิวและปรับปรุงประสิทธิภาพในแผ่นธาตุลบส่งผลทำให้สามารถจัดเก็บค่าความจุได้มากยิ่งขึ้น ส่วนคาร์บอนแบล็คมีคุณสมบัติช่วยในการชาร์จไฟฟ้าและดิสชาร์จของแบตเตอรี่ จะทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าหรือสะพานไฟ (Boden D.P., 2008)

Atanassova P. และคณะได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคาร์บอนแบล็คที่ใช้ในขั้วไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด พบว่าการผสมวัสดุกระตุ้นกับตะกั่วออกไซด์และกรดซัลฟูริกในวัสดุผสมจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในแผ่นธาตุลบ ซึ่งวัสดุกระตุ้นจะต้องประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟตที่มีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยาเป็นตัวนำซัลเฟตในช่วงแบตเตอรี่ไม่ได้ชาร์จไฟฟ้า คาร์บอนแบล็คจะทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าหรือสะพานไฟของวัสดุผสมในการคายประจุ ส่วนลิกโนซัลโฟเนตจะเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุผสมและปรับปรุงประสิทธิภาพในแผ่นธาตุลบทำให้สามารถจัดเก็บค่าความจุได้มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งคาร์บอนแบล็คจะปรับปรุงการประจุไฟฟ้า การคายประจุและจำนวนรอบจากการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยทั่วไปคาร์บอนแบล็คจะสร้างโครงข่ายการนำไฟฟ้าบนพื้นที่ผิว เพื่อชะลอการเกิดตะกั่วซัลเฟต ( $PbSO_4$ ) บนพื้นที่ผิวของตะกั่ว ซึ่งการเพิ่มคาร์บอนแบล็คจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของโครงข่ายการนำไฟฟ้าบนพื้นที่ผิวของตะกั่ว (Atanassova P. และคณะ, 2013)

จากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้จากการศึกษานี้จะเป็นแนวทางการพัฒนาค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุสูงผลมาจากวัสดุกระตุ้นของวัสดุขยาย (Expander) เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญมีหน้าที่ในการเพิ่มค่าความจุ ด้านทานความร้อนและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งกระบวนการผลิตวัสดุกระตุ้นของวัสดุขยาย โดยทำการผสมวัสดุกระตุ้นของวัสดุขยายให้เข้ากัน โดยการใช้เครื่องผสมความเร็วรอบสูง (Bench top mini high speed mixers) ผู้วิจัยจึงสนใจทำการศึกษาอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า เพื่อทำการเปรียบเทียบกับวัสดุกระตุ้นชนิด HE115 (Commercial grade) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่รถไฟฟ้าทั่วไป

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า

## ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษ้อัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้าขอบเขตของการวิจัยจะประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

1. ขอบเขตของเนื้อหาเป็นการศึกษ้อัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า ซึ่งค่าความจุพลังงานต่อหน่วยส่งผลมาจากวัสดุกระตุ้นวัสดุขยาย เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญในการผลิตแผ่นธาตุลบมีคุณสมบัติในการเพิ่มค่าความจุ ด้านทานความร้อนและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งกระบวนการผลิตวัสดุขยาย โดยใช้เครื่องผสมความเร็วรอบสูง (Bench top mini high speed mixers)

2. ขอบเขตของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาจะประกอบด้วยตัวแปรต้นและตัวแปรตาม โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ วัสดุกระตุ้นชนิด N220, XE2B และ HE115 ซึ่งจะใช้ความเร็วรอบการผสม 500, 1,000 และ 1,500 รอบ/นาที และระยะเวลาการผสม 2 และ 10 นาที ตามลำดับ โดยใช้เครื่องผสมความเร็วรอบสูง

2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ อัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การกำหนดประชากร ได้แก่ อัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นชนิด N220, XE2B และ HE115 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้น

วัสดุกระตุ้น	N220	XE2B	HE115 (Commercial grade)
วัสดุดิบ			
Barium Sulfate	87	87	< 90 %
Sodium lignosulfonate	9	9	< 10 %
Carbon black	4	4	< 5 %

วัสดุกระตุ้นเป็นส่วนผสมหลักของแผ่นธาตุลบมีคุณสมบัติในการเพิ่มค่าความจุและจำนวนรอบอัตราการคายประจุต่อการใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งวัสดุกระตุ้นจะประกอบด้วย แบเรียมซัลเฟต โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค ซึ่งแบเรียมซัลเฟตมีคุณสมบัติในการเพิ่มค่าความต้านทานต่อการกัดกร่อน โซเดียมลิกโนซัลโฟเนตมีคุณสมบัติในการเพิ่มพื้นที่ผิวและลดอุณหภูมิจากการใช้งาน ส่วนคาร์บอนแบล็คจะทำหน้าที่ปรับปรุงคุณสมบัติการนำไฟฟ้า ซึ่งส่วนประกอบของวัสดุกระตุ้นมีรายละเอียดดังนี้

1. แบเรียมซัลเฟต (Barium sulfate) ซึ่งคุณสมบัติของแบเรียมซัลเฟตในการทำปฏิกิริยาเป็นตัวนำซัลเฟตในช่วงแบตเตอรี่ไม่ได้ชาร์จไฟฟ้าสามารถละลายได้ในกรดซัลฟูริกจะทำหน้าที่ในการจับ  $PbSO_4$  เพื่อไม่ให้  $PbSO_4$  เกิดเป็นฟิล์มบน Pb (Boden D.P, 2008)

2. โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต (Sodium lignosulfonate) ซึ่งคุณสมบัติของโซเดียมลิกโนซัลโฟเนตจะประสานเนื้อวัสดุ เพิ่มความต้านทานด้านความร้อนของแผ่นธาตุและเพิ่มอายุของแผ่นธาตุ จะทำหน้าที่ในการจับ Pb เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟิล์มของ  $PbSO_4$  เคลือบบน Pb (Boden D.P, 2008)

3. คาร์บอนแบล็ค (Carbon black) ซึ่งคุณสมบัติของคาร์บอนแบล็คเป็นตัวทำปฏิกิริยาช่วยในการชาร์จไฟฟ้าและดิสชาร์จของแบตเตอรี่จะทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าหรือสะพานไฟ (Boden D.P, 2008)

2. การกำหนดกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นชนิด N220, XE2B และ HE115 โดยใช้ความเร็วรอบและระยะเวลาในการผสมของวัสดุกระตุ้นดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความเร็วรอบและระยะเวลาในการผสมวัสดุกระตุ้น

Expander	Speed (RPM)	Time (minute)
N220	500	2
	500	10
	1,000	10
	1,500	10
XE2B	500	2
	500	10
	1,000	10
	1,500	10
HE115	N/A	N/A

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยการศึกษาอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้าจะประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการผสมวัสดุกระตุ้นด้วยเครื่องผสมความเร็วรอบสูง เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการผสมวัสดุกระตุ้น ได้แก่ แบเรียมซัลเฟต (Barium sulfate) ลิทโธซิลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค ในอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นตามตารางที่ 1 ด้วยความเร็วรอบและระยะเวลาการผสมวัสดุกระตุ้น ตามตารางที่ 2

2. เครื่อง Auto lab PGSTAT30 (Cyclic Voltammetry) เป็นเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของวัสดุกระตุ้นชนิด N220, XE2B และ HE115 ในการทดสอบจะต้องจัดเตรียมตะกั่วให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ตารางเซนติเมตร การตั้งเครื่องจะต้องตั้งค่าให้อยู่ในช่วง -0.30 ถึง -0.90V อัตราการสแกนอยู่ที่ 20 mV/s ใช้กรดซัลฟูริก 1.25 g-cm<sup>-3</sup> โดยการเตรียมวัสดุกระตุ้นให้มีความเข้มข้น 20 ppm

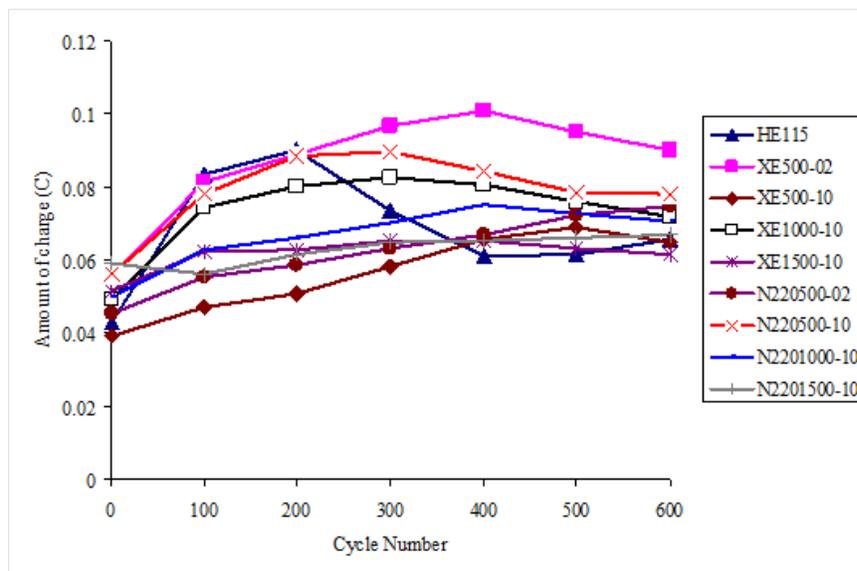
4. การวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้น โดยการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าด้านค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่ โดยการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของวัสดุกระตุ้นชนิด N220, XE2B และ HE115 ด้วยการทดสอบโวลแทมเมตรี (CV) โดยใช้เครื่อง Auto lab PGSTAT30

## ผลการดำเนินการ

จากผลการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic Voltammogram) ของวัสดุกระตุ้นด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการผสมวัสดุกระตุ้นด้วยเครื่องผสมความเร็วรอบสูง ประกอบด้วย แบเรียมซัลเฟต ลิทโธซิลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค ในอัตราส่วนผสมความเร็วรอบ และระยะเวลาการผสมวัสดุกระตุ้นตามที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้เครื่อง Auto lab PGSTAT30 เป็นเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของวัสดุกระตุ้นชนิด N220, XE2B และ HE115 (Commercial grade) เพื่อทำการเปรียบเทียบ ซึ่งการทดสอบจะต้องจัดเตรียมตะกั่วให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ตารางเซนติเมตร การตั้งเครื่องจะต้องตั้งค่าให้อยู่ในช่วง -0.30 ถึง -0.90V อัตราการสแกนอยู่ที่ 20 mV/s ใช้กรดซัลฟูริก 1.25 g-cm<sup>-3</sup> โดยการเตรียมวัสดุกระตุ้นให้มีความเข้มข้น 20 ppm ผลจากการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรีได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรีของวัสดุกระตุ้น

ผลิตภัณฑ์ จำนวนรอบ	HE115	XE500- 02	XE500- 10	XE1000- 10	XE1500- 10	N220500- 02	N220500- 10	N2201000- 10	N2201500- 10
1	4.30E-02	5.60E-02	3.94E-02	4.91E-02	5.18E-02	4.55E-02	5.62E-02	5.00E-02	5.93E-02
100	8.34E-02	8.14E-02	4.71E-02	7.43E-02	6.25E-02	5.56E-02	7.84E-02	6.30E-02	5.63E-02
200	9.03E-02	8.91E-02	5.11E-02	8.04E-02	6.27E-02	5.86E-02	8.85E-02	6.61E-02	6.18E-02
300	7.35E-02	9.67E-02	5.85E-02	8.28E-02	6.54E-02	6.34E-02	8.97E-02	7.02E-02	6.48E-02
400	6.11E-02	1.01E-01	6.57E-02	8.06E-02	6.53E-02	6.71E-02	8.44E-02	7.52E-02	6.53E-02
500	6.18E-02	9.53E-02	6.92E-02	7.61E-02	6.35E-02	7.23E-02	7.85E-02	7.28E-02	6.62E-02
600	6.58E-02	9.03E-02	6.49E-02	7.19E-02	6.16E-02	7.49E-02	7.83E-02	7.06E-02	6.69E-02



ภาพที่ 1 ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด  $1.25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ HE115, XE500-02, XE500-10, XE1000-10, XE1500-10, N220500-02, N220500-10, N2201000-10 และ N2201500-10

จากรูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด  $1.25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm พบว่า วัสดุกระตุ้นของ Expander materials แต่ละชนิดให้ค่าความจุแตกต่างกัน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับจำนวนรอบการทดสอบแต่ละครั้ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด  $1.25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ HE115 จากการทดสอบ Cyclic Voltammogram พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดในรอบที่ 200 ซึ่งมีค่าความจุที่  $9.034\text{E-}02$  แล้วจะลดต่ำลงอยู่ในรอบที่ 300 และ 400 ซึ่งมีค่าความจุที่  $7.354\text{E-}02$  และ  $6.113\text{E-}02$  แล้วจะค่อย ๆ ลดเอียงขึ้นในรอบที่ 500 และ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่  $6.182\text{E-}02$  และ  $6.582\text{E-}02$  ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด  $1.25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ XE500-02 จากการทดสอบ Cyclic Voltammogram พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดในรอบที่ 400 ซึ่งมีค่าความจุที่  $1.012\text{E-}01$  แล้วจะค่อย ๆ ลดต่ำลงมาอยู่ในรอบที่ 500 และ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่  $9.533\text{E-}02$  และ  $9.034\text{E-}02$  ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด  $1.25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ XE500-10 จากการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดในรอบที่ 500 ซึ่งมีค่าความจุที่  $6.924\text{E-}02$  แล้วจะค่อย ๆ ลดต่ำลงมาอยู่ในรอบที่ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่  $6.493\text{E-}02$

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด  $1.25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ XE1000-10 จากการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดใน

รอบที่ 300 ซึ่งมีค่าความจุที่  $8.284E-02$  แล้วจะค่อย ๆ ลดต่ำลงมาอยู่ในรอบที่ 400, 500 และ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่  $8.061E-02$ ,  $7.612E-02$  และ  $7.191E-02$  ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด  $1.25 \text{ g-cm}^3$  ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ XE1500-10 จากการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดในรอบที่ 300 ซึ่งมีค่าความจุที่  $6.542E-02$  แล้วจะค่อย ๆ ลดต่ำลงมาอยู่ในรอบที่ 400, 500 และ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่  $6.533E-02$ ,  $6.351E-02$  และ  $6.162E-02$  ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด  $1.25 \text{ g-cm}^3$  ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ N220500-02 จากการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดในรอบที่ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่  $7.491E-02$

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด  $1.25 \text{ g-cm}^3$  ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ N220500-10 จากการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดในรอบที่ 300 ซึ่งมีค่าความจุที่  $8.972E-02$  แล้วจะค่อย ๆ ลดต่ำลงมาอยู่ในรอบที่ 400, 500 และ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่  $8.442E-02$ ,  $7.854E-02$  และ  $7.833E-02$  ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด  $1.25 \text{ g-cm}^3$  ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ N2201000-10 จากการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดในรอบที่ 400 ซึ่งมีค่าความจุที่  $7.521E-02$  แล้วจะค่อย ๆ ลดต่ำลงมาอยู่ในรอบที่ 500 และ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่  $7.283E-02$  และ  $7.064E-02$  ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด  $1.25 \text{ g-cm}^3$  ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ N2201500-10 จากการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดในรอบที่ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่  $6.693E-02$

สรุปผลจากการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด  $1.25 \text{ g-cm}^3$  ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของวัสดุขยาย แต่ละชนิดให้ค่าความจุแตกต่างกัน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับจำนวนรอบการทดสอบแต่ละครั้ง พบว่าวัสดุขยายกับ XE500-02 และ N220500-10 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับวัสดุขยายกับ HE115 (Commercial grade) ให้ค่าความจุที่สูงกว่าในรอบที่ 300 ขึ้นไป

## สรุปผลและการอภิปราย

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด  $1.25 \text{ g-cm}^3$  ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm สำหรับวัสดุขยายแต่ละชนิดให้ค่าความจุแตกต่างกัน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับจำนวนรอบการทดสอบแต่ละครั้ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

การศึกษาอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า จากผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด  $1.25 \text{ g-cm}^3$  ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm สำหรับวัสดุขยายแต่ละชนิดให้ค่าความจุแตกต่างกัน เมื่อเทียบกับจำนวนรอบการทดสอบแต่ละครั้ง พบว่าการผสมคาร์บอนแบล็กด้วยความเร็วรอบและระยะเวลาแตกต่างกันส่งผลต่อค่าความจุของวัสดุกระตุ้นแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Saez F. และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของวัสดุกระตุ้นที่แตกต่างกันในแผ่นธาตุลบต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด พบว่าการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณและชนิดคาร์บอนแบล็กผลที่ตามมาจะส่งผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพต่อ

ค่าความจุและจำนวนรอบจากการใช้งานของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุกระตุ้นชนิด XE500-02 และ N220500-10 จะให้ค่าความจุสูงกว่าจากการเปรียบเทียบกับวัสดุกระตุ้นชนิด HE115 (Commercial grade) โดยให้ค่าความจุที่สูงกว่าในรอบที่ 300 ขึ้นไป ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

ผลการปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด  $1.25 \text{ g-cm}^3$  ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm สำหรับ XE500-02 ซึ่งมีส่วนผสมประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟต ลิทอนโซลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค (High structure carbon black) จากการเปรียบเทียบกับวัสดุขยายกับ HE115 เนื่องจากส่วนผสมของคาร์บอนแบล็ค (High structure carbon black) ซึ่งโครงสร้างของคาร์บอนแบล็ค (High structure carbon black) จะมีลักษณะรูปแบบการเกาะกลุ่มของจำนวนอนุภาคขนาดเล็ก ๆ ในการรวมตัวเข้าด้วยกันขนาดใหญ่ส่งผลทำให้มีรูปแบบเป็นกิ่งก้านและสายโซ่ยาว ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Papazov G. และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของอุณหภูมิต่อความมีเสถียรภาพของวัสดุกระตุ้นต่อจำนวนรอบจากการใช้งานของแผ่นธาตุลบ พบว่าวัสดุกระตุ้นมีเสถียรภาพและประสิทธิภาพต่อค่าความจุและจำนวนรอบจากการใช้งานของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างของวัสดุผสมในแผ่นธาตุลบจะประกอบด้วยโครงสร้างของกิ่งก้านที่ประสานเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายมีลักษณะคล้ายผลึกตะกั่ว และผลึกของตะกั่วจะแพร่ขยายเพิ่มพื้นที่ผิวส่งผลทำให้สามารถจัดเก็บความจุได้มากขึ้น การจับตัวของโครงสร้างดังกล่าว จึงส่งผลต่อ ค่าความจุของวัสดุกระตุ้นวัสดุขยายกับ XE500-02 ซึ่งยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Foster J.K. (1991) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของคาร์บอนแบล็คต่อคุณสมบัติการนำไฟฟ้า พบว่า ส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นจะต้องประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟต ลิทอนโซลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค หน้าที่ของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นจะปรับปรุงคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าของวัสดุผสมในระหว่างการคายประจุของแบตเตอรี่ ซึ่งคาร์บอนแบล็คสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทอันได้แก่ โครงสร้างต่ำ โครงสร้างปานกลาง และโครงสร้างสูง และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Glasstetter F.E. และคณะ (1982) และ Glasstetter F.E. และคณะ (1983) และ Shiomi M. และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคาร์บอนแบล็คที่ใช้ในแบตเตอรี่ พบว่า คาร์บอนแบล็คที่ใช้ในแบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นส่วนประกอบที่ส่งผลต่อค่าความจุ ปรับปรุงคุณลักษณะเฉพาะของการคายประจุและคุณสมบัติอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ส่วนผลของอัตราส่วนผสม เมื่อความเร็วยรอบเพิ่มจะส่งผลต่อค่าความจุที่ลดต่ำลง เนื่องจากความเร็วยรอบจะส่งผลต่อแรงบิดที่ทำให้ไปัดเดือนการจับกลุ่มของ Barium sulfate ซึ่งการจับกลุ่มของ Barium sulfate จะเคลือบอยู่บนคาร์บอนแบล็ค ส่งผลทำให้โครงสร้างของคาร์บอนแบล็คถูกตัดเดือนไปด้วยเมื่อมีความเร็วยรอบสูงและใช้ระยะเวลาในการผสมที่ยาวนาน

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด  $1.25 \text{ g-cm}^3$  ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm สำหรับ N220500-10 ซึ่งมีส่วนผสมประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟต ลิทอนโซลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค (Medium structure carbon black) จากการเปรียบเทียบกับวัสดุขยายกับ HE115 เนื่องจากส่วนผสมของคาร์บอนแบล็ค (Medium structure carbon black) ซึ่งโครงสร้างของคาร์บอนแบล็ค (Medium structure carbon black) จะมีลักษณะรูปแบบการเกาะกลุ่มของจำนวนอนุภาคขนาดเล็ก ๆ ในการรวมตัวเข้าด้วยกันค่อนข้างใหญ่ส่งผลทำให้มีรูปแบบเป็นกิ่งก้านและสายโซ่ ซึ่งการจับตัวของโครงสร้างดังกล่าว จึงส่งผลต่อค่าความจุของวัสดุกระตุ้นวัสดุขยายกับ N220500-10 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Foster J.K. (1991) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของคาร์บอนแบล็คต่อคุณสมบัติการนำไฟฟ้า พบว่า ส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นจะต้องประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟต ลิทอนโซลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค หน้าที่ของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นจะปรับปรุงคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าของวัสดุผสมในระหว่างการคายประจุของแบตเตอรี่ ซึ่งคาร์บอนแบล็คสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทอันได้แก่ โครงสร้างต่ำ โครงสร้างปานกลาง และโครงสร้างสูง และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Glasstetter F.E.

และคณะ (1982) และ Glasstetter F.E. และคณะ (1983) และ Shiomi M. และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคาร์บอนแบล็คที่ใช้ในแบตเตอรี่ พบว่า คาร์บอนแบล็คที่ใช้ในแบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นส่วนประกอบที่ส่งผลต่อค่าความจุ ปรับปรุงคุณลักษณะเฉพาะของการคายประจุและคุณสมบัติอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ส่วนผลของอัตราส่วนผสมเมื่อความเร็วรอบ 500 รอบ/นาทีและใช้ระยะเวลาในการผสม 10 นาที โครงสร้างคาร์บอนแบล็ค อาจไม่สามารถกระจายตัวจากการจับกลุ่มการใช้ระยะเวลาการผสมที่น้อยกว่าทำให้ส่งผลต่อค่าความจุที่ต่ำลง ในทางตรงกันข้ามหากเพิ่มความเร็วยิ่งจะส่งผลต่อแรงบิดทำให้ไปตัดเงื่อนไขการจับกลุ่มของแบเรียมซัลเฟต ซึ่งการจับกลุ่มของแบเรียมซัลเฟต จะเคลือบอยู่บนคาร์บอนแบล็ค ส่งผลทำให้โครงสร้างของคาร์บอนแบล็คถูกตัดเฉือนไปด้วยจะส่งผลต่อค่าความจุที่ลดลงเช่นกัน

ผลการปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด  $1.25 \text{ g-cm}^3$  ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm สำหรับ HE115 ซึ่งมีส่วนผสมประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟต ลิทอนซัลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค เช่นกัน จากการทดสอบทางไฟฟ้าเคมี พบว่าให้ค่าความจุต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุขยายกับ XE500-02 และ N220500-10 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ McNally T.J. และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสารประกอบวัสดุกระตุ้นสำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด พบว่าสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุกระตุ้นจะปรับปรุงจำนวนรอบจากการใช้งานและมีคุณสมบัติที่ดีกว่าจากการเปรียบเทียบกับวัสดุกระตุ้นตามมาตรฐานในท้องตลาด เนื่องจากส่วนผสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งคาร์บอนแบล็คน่าจะเป็นชนิด คาร์บอนแบล็คโครงสร้างต่ำซึ่งมีโครงสร้างรูปแบบจำนวนของอนุภาคขนาดเล็ก ๆ ในการรวมตัวการจับกลุ่ม จึงจับกลุ่มกันแน่นและแออัดทำให้เกิดระยะช่องว่างของทางเดินอิเล็กตรอน (Electron Path) กว้างทำให้การส่งถ่ายอิเล็กตรอน (Electron) ช้ากว่าปกติ ซึ่งส่งผลต่อค่าความจุของวัสดุขยายกับ HE115 และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Foster J.K. (1991) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของคาร์บอนแบล็คต่อคุณสมบัติการนำไฟฟ้า พบว่า ส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นจะต้องประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟต ลิทอนซัลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค หน้าที่ของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นจะปรับปรุงคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าของวัสดุผสมในระหว่างการคายประจุของแบตเตอรี่ ซึ่งคาร์บอนแบล็คสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทอื่น ได้แก่ โครงสร้างต่ำ โครงสร้างปานกลาง และโครงสร้างสูง

## ข้อเสนอแนะ

การศึกษ้อัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า ซึ่งทางผู้วิจัยได้เสนอแนะเพื่องานวิจัยครั้งต่อไปดังนี้

1. ผลของคาร์บอนและการผสมในการเตรียมวัสดุกระตุ้นที่ส่งผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบ
2. ผลของคาร์บอนและลิทอนในการเตรียมวัสดุกระตุ้นที่ส่งผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบ

## กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยการศึกษ้อัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า ขอกราบขอบพระคุณผู้บริหารของทางมหาวิทยาลัยธนบุรีที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

## 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.

- Boden, D.P. (2008). Lead-acid Battery Expanders with Improved Life at High Temperatures. *United States Patent Application Publication*, Publication No. US 2008/0305396 A1, 1-4.
- Foster, J.K. (1991). Effects of Carbon Black Properties on Conductive Coatings. *Presented in the 2<sup>nd</sup> international exhibition of paint industry suppliers*, 1-6.
- Francia, C., Maja, M., Spinelli, P. (2001). Electrochemical Characterization of Expander Materials. *J Power S 2001*, 95, 119-124.
- Glasstetter, F.E., Pa, Y., Eckert, F.J., La, M. (1982). Battery carbon black. United States Patent. *Publication No. 1982/4351815*, 1-4.
- Glasstetter, F.E. , Pa, Y., Eckert, F.J., La, M. (1983). Process for the manufacture of battery carbon black. *United States Patent. Publication No. 1983/4367208*, 1-4.
- 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.
- Shiomi, M., Funato, T., Nakamura, K., Takahashi, K. & Tsubota, M. (1997). Effects of Carbon in Negative Plates on Cycle-life Performance of Valve- Regulated Lead-acid Batteries. *J Power S 1997*, 64, 147-152.
- Saez, F., Martinez, B., Marin, D., Spinelli, P., Trinidad, F. (2001). The Influence of Different Negative Expanders on the Performance of VRLA Single Cells. *J Power S 2001*, 95, 174-190.
- Papazov, G., Pavlov, D., Monahov, B. (2003). Influence of Temperature on Expander Stability and on the Cycle Life of Negative Plates. *J Power S 2003*, 113, 335-344.