

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

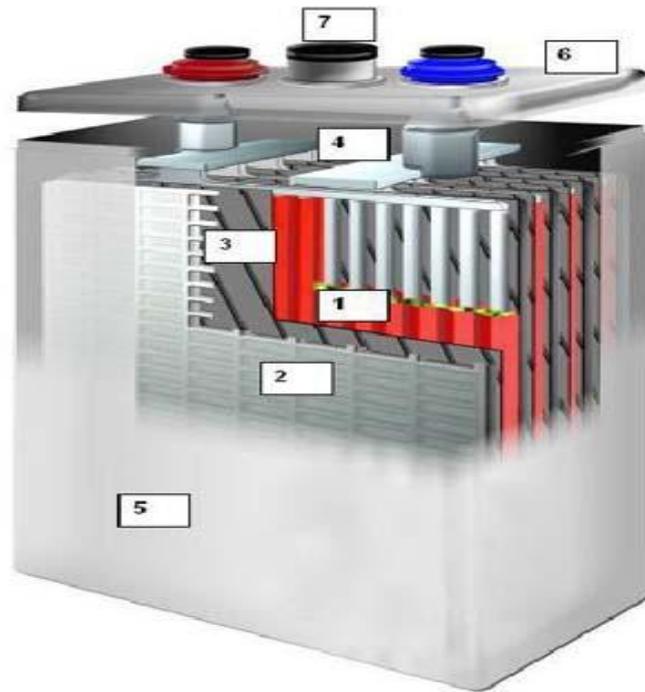
ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ผลในการผสมที่ส่งผลต่อค่าความจุและทำการวิเคราะห์พร้อมทดสอบ Expander materials โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าจากเอกสาร ตำรา และงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง โดยรวบรวมนำเสนอเอกสารที่เกี่ยวข้องตามลำดับดังนี้

1. แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด
2. แบตเตอรี่รถไฟฟ้า
3. สารประกอบคาร์บอน
4. โวลแทมเมตรี
5. เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead – Acid Battery)

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ถูกค้นพบมานานกว่า 100 ปี ปัจจุบันเป็นแบตเตอรี่ชนิดที่ใช้กันมากที่สุด ส่วนแบ่งทางการตลาดของแบตเตอรี่ชนิดนี้มากกว่าครึ่งของตลาดแบตเตอรี่ ทั้งแบบปฐมภูมิและทุติยภูมิรวมกัน แบตเตอรี่ชนิดนี้ใช้สำหรับจุดระเบิดเครื่องยนต์ใช้เป็นหน่วยจ่ายพลังงานฉุกเฉินในขณะที่ไฟฟ้าดับหรือใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าในโรงงานที่อากาศไม่ถ่ายเทเป็นแบตเตอรี่ที่มีราคาถูก เนื่องจากใช้วัสดุที่หาได้ง่ายและมีกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อน อีกทั้งยังมีอายุการใช้งานยาวนานแม้ว่าสารตะกั่วจะเป็นพิษแต่ในขณะนี้ได้มีการรีไซเคิลแบตเตอรี่ชนิดนี้อย่างจริงจัง โดย 95-98 เปอร์เซ็นต์ของตัวแบตเตอรี่ได้ถูกนำมาแปรรูปและใช้ใหม่

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด มีขั้วลบซึ่งทำจากตะกั่วที่มีลักษณะพรุน (Porous Pb) ส่วนขั้วบวกนั้นเป็นตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) ที่มีลักษณะพรุนเช่นกัน โดยมีกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้นเป็นอิเล็กโทรไลต์



ภาพที่ 2.1 องค์ประกอบของแบตเตอรี่

ที่มา : [www. Eurobat.org](http://www.Eurobat.org)

องค์ประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด ประกอบด้วย

1. แผ่นธาตุบวก(Positive Plate) หมายถึง สารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทำด้วยตะกั่วไดออกไซด์ (PbO_2)
2. แผ่นธาตุลบ (Negative Plate) หมายถึง สารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทำด้วยตะกั่วฟรูน (Spongy Lead)
3. แผ่นกั้น (Separator) หมายถึง แผ่นที่อยู่ระหว่างแผ่นธาตุบวกกับแผ่นธาตุลบ เพื่อป้องกันไม่ให้แผ่นธาตุทั้งสองชนิดติดต่อกันเกิดการลัดวงจร
4. ขั้วแบตเตอรี่ (Pole) หมายถึง แท่งตะกั่วยื่นออกมาจากฝาครอบทั้ง 2 ขั้ว คือขั้วบวกและขั้วลบ มีสัญลักษณ์มองเห็นได้ที่ฝาครอบหรือขั้วอย่างชัดเจน
5. เปลือกหม้อ (Container) หมายถึง ภาชนะบรรจุส่วนต่างๆของเซลล์แบตเตอรี่ เช่น แผ่นธาตุบวกแผ่นธาตุลบ แผ่นกั้นและน้ำกรดไว้ภายใน
6. ฝาครอบแบตเตอรี่ (Cover) หมายถึง ฝาครอบแบตเตอรี่ทำหน้าที่ ป้องกันมิให้น้ำกรดหกออกจากแบตเตอรี่และป้องกันสิ่งแปลกปลอมต่างๆ จากภายนอกไม่ให้ตกลงไปในแบตเตอรี่
7. จุก (Plug) หมายถึง ช่องในฝาครอบแบตเตอรี่ที่ทำไว้เพื่อการเติมอิเล็กโทรไลต์ขณะปฏิบัติการบำรุงรักษาจุกนี้จะต้องมีช่องสำหรับระบายแก๊สที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่ให้ระเหยออกไปได้ด้วย

ขั้นตอนการผลิตแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

โดยทั่วไปโรงงานทำแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะมีขั้นตอนการผลิตที่สำคัญ ดังนี้

1. การผลิตเปลือกหม้อ (Container) เปลือกหม้อที่ทำด้วยยางหรือพลาสติกขึ้นโดยใช้ยางพารา คาร์บอน กำมะถัน ยางสังเคราะห์ และสารเคมีอื่นๆ อีกหลายชนิดนำมาผสมกันในเครื่องผสมยาง แล้วรีดออกมาเป็นแผ่นยาง นำไปใส่แม่พิมพ์ของเครื่องอัดเปลือกหม้อ ยางที่อยู่ในแบบแม่พิมพ์จะถูกอัดตัวด้วยระบบไฮดรอลิกส์ และใช้ความร้อนในการทำยางแผ่นประสานตัวเปลือกหม้อตามแบบพิมพ์ นำมาตากแห้งให้เรียบร้อย และทดสอบความแข็งแรงของเนื้อยางและความเป็นฉนวนไฟฟ้า
2. การหล่อชิ้นส่วนต่างๆ ภายในแบตเตอรี่ที่เป็นตะกั่วชิ้นส่วนต่างๆ ภายในแบตเตอรี่ที่เป็นตะกั่ว ได้แก่ แผ่นโครงกริด ขั้วสะพาน และอื่นๆ การหล่อแผ่นโครงตะกั่ว (Grid) โดยนำแผ่นตะกั่วผสมมาหลอมละลายแล้วเทตะกั่วเหลวลงในแบบหล่อกริด นำแผ่นกริดออกจากแบบหล่อตากแห้งขึ้นงานให้เรียบร้อย การหล่อขั้วสะพานตะกั่วและส่วนอื่นๆ นั้นอาจใช้เศษชิ้นส่วนตะกั่วที่ตัดทิ้งมาจากแผ่นกริดหรือใช้โลหะตะกั่วผสมมาหลอมละลายเทลงในแบบของชิ้นส่วนที่ต้องการหล่อ จากนั้นนำมาตัดและตากแห้งเช่นเดียวกับการหล่อแผ่นกริด
3. การทำแผ่นบวกและลบ โดยการนำผงตะกั่วออกไซด์มาผสมกันกรดซัลฟิวริกเจือจาง ซึ่งจะได้สารผสมที่มีลักษณะคล้ายแป้งชั้นๆ เรียกว่า เพสต์ (Paste) ซึ่งมี 2 ชนิด คือ เพสต์บวกและเพสต์ลบ ซึ่งแตกต่างกันคือ เพสต์บวกมีส่วนผสมของคาร์บอนแบล็ค ส่วนเพสต์ลบจะมีส่วนผสมของแบเรียมซัลเฟต สารลิกนิน และสารเคมีอื่นๆ หลังจากผสมเพสต์แล้วจะละเลงเพสต์ลงบนแผ่นโครงกริดแล้วอบด้วยความร้อนเพื่อให้แห้ง
4. การทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าแก่แผ่นบวกและแผ่นลบ โดยการนำแผ่นกริดที่ผ่านการอบแล้วทั้ง 2 ชนิด นำมาเรียงสลับในถังซึ่งบรรจุกรดกำมะถันเจือจาง แล้วปล่อยให้กระแสไฟตรงไหลผ่านใช้เวลาประมาณ 20 ชั่วโมง แผ่นบวกจะได้รับการเติมออกซิเจนกลายเป็น “ตะกั่วออกไซด์” มีสีน้ำตาลไหม้ ส่วนแผ่นลบจะเกิดการลดออกซิเจนกลายเป็น “ตะกั่วฟรุ่น” มีสีเทา ล้างแผ่นบวกและแผ่นลบให้หมดกรดแล้วอบให้แห้ง
5. การประกอบหม้อแบตเตอรี่ โดยการนำเอาแผ่นบวกและแผ่นลบมาเรียงสลับกันและสอดแผ่นฉนวนกันระหว่างแผ่นทั้งสองชนิด จำนวนแผ่นบวกและแผ่นลบขึ้นอยู่กับขนาดความจุที่ต้องการ แผ่นลบจะอยู่ที่ปลายทั้งสองเซลล์ แล้วประกอบลงในเปลือกหม้อ ประสานสะพานระหว่างเซลล์ให้ขั้วบวกของเซลล์หนึ่งต่อเข้าขั้วลบของอีกเซลล์หนึ่ง และทำขั้วใช้งานขั้วบวก ขั้วลบเป็นแบตเตอรี่สำเร็จรูป

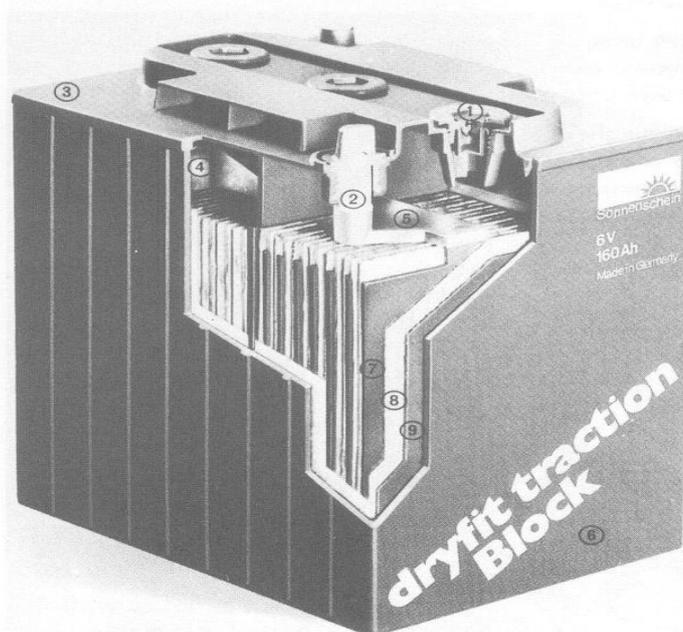
2.2 แบตเตอรี่รถไฟฟ้า (Traction Batteries)

แบตเตอรี่ชนิด Valve-regulated Lead-acid สามารถนำมาใช้งานเป็นส่วนหรือบริเวณได้ โดยมี การออกแบบบนพื้นฐานของการออกแบบแบตเตอรี่ทั่วไปที่ใช้งานเป็นบริเวณ ยกเว้น มีการใช้สารอิเล็กโทรไลต์แบบเคลื่อนที่ไม่ได้ (Immobilized Electrolyte) และใช้แผ่นตะกั่วแอนติโมนี ซึ่งมีพลวง (Antimony) น้อย หรือไม่มีเลย

ในแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ จะประกอบด้วยเซลล์เดี่ยวขนาดเล็กลงในภาตโลหะ ในรูปแบบเดียวกับ แบตเตอรี่แบบ Traction ทั่วไป สามารถใช้งานที่ลดลงเนื่องจากการใช้ Immobilized Electrolyte ชดเชยได้ โดยการเพิ่มขนาดของแผ่นเพลท ดังนั้น ความจุของแบตเตอรี่ จะขึ้นอยู่กับขนาดของแบตเตอรี่ และทำให้ แบตเตอรี่ชนิด Valve-regulated Lead-acid มีน้ำหนักมากกว่าแบตเตอรี่ทั่วไปเล็กน้อย

แบตเตอรี่ใช้งานเป็นบริเวณ ชนิด Valve-regulated Lead-acid นี้ มักจะเป็นแบตเตอรี่แบบบล็อก ขนาด 6-12 V (เช่นเดียวกับแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ทั่วไป) และมีรายละเอียดในภาพที่ 2.2

แบตเตอรี่แบบบล็อก ดังภาพที่ 2.2 นิยมใช้ในยานพาหนะขนาดเล็ก เช่น รถเข็นคนพิการ (วีลแชร์) เนื่องจากข้อพิเศษของแบตเตอรี่ชนิดนี้ ซึ่งจะไม่มีการดัดไหลหกออกมา ทำให้เหมาะที่จะใช้ในที่อยู่อาศัยซึ่ง ปลอดภัยด้วย



Valve-regulated lead-acid battery for traction.
3 cells (6 volt), 160 Ah

- 1: Valve (opening pressure $\approx 10000 \text{ Pa} = 100 \text{ mbar}$)
- 2: Positive terminal
- 3: Cell cover (polypropylene)
- 4: Intercell connection
- 5: Pole bridge
- 6: Container (polypropylene)
- 7: Positive plate
- 8: Microporous separator with glass felt adjacent to the positive electrode
- 9: Negative plate

ภาพที่ 2.2 การติดตั้งแบตเตอรี่แบบบล็อก

ที่มา : D. Berndt..p200

การผลิตแบตเตอรี่รถไฟฟ้า

แบตเตอรี่รถไฟฟ้า (Traction หรือ Motive Power Battery) ใช้เป็นกำลังขับเคลื่อนรถไฟฟ้าที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ผลิตตามมาตรฐานอังกฤษ มาตรฐานเยอรมนี มาตรฐานญี่ปุ่นและมาตรฐานสากลอื่นๆ สำหรับการผลิตแบตเตอรี่รถไฟฟ้าประกอบด้วย

การผลิตแผ่นธาตุบวก

1. การ Filling ประกอบด้วย

- 1.1 Spine Grid หมายถึง โครง Grid ซึ่งเป็นการเตรียมโครง Grid ให้ได้ขนาดตามที่เราต้องการ
- 1.2 Gauntlets หมายถึง หลอดหรือเสื้อสวมใน Spine Grid เพื่อห่อหุ้มผงตะกั่วที่ใส่เข้าไปใน Gauntlets
- 1.3 ผงตะกั่ว หมายถึง ผงตะกั่วผสมประกอบด้วยผงตะกั่วชั้นออกไซด์ 70 % และ ผงเส้น 30 %
- 1.4 Closing Strap หมายถึง จุดที่ใช้ปิดด้านล่างของหลอดเมื่อบรรจุผงตะกั่วลงใน Gauntlets

2. Sulfatation หมายถึง การนำแผ่นที่ Filling แล้วไปแช่กรดกำมะถันเจือจางเพื่อต้องการเปลี่ยนผงตะกั่วออกไซด์เป็นตะกั่วซัลเฟตที่ใช้เวลาประมาณ 12 – 16 ชม.

3. Blashing หมายถึงการล้างน้ำเพื่อทำความสะอาดสิ่งสกปรกออกจากแผ่น Sulfatation สำหรับน้ำที่ใช้ในการล้างมีอุณหภูมิไม่ควรเกิน 35 องศาเซลเซียส ค่า pH ควรอยู่ระหว่างช่วง 5-7 และเมื่อทำการ Sulfatation เสร็จเรียบร้อยแล้วน้ำที่หยดจากแผ่นภาพควรมีค่า pH อยู่ระหว่าง 4-5

4. การอบแห้ง หมายถึง การอบแผ่นธาตุบวกแบบหลอดให้แห้ง เมื่อนำแผ่นธาตุบวกแบบหลอดไปล้างน้ำ หลังจากแช่กรดเสร็จสิ้นแล้วโดยนำแผ่นธาตุบวกแบบหลอดไปทำการอบในตู้อบทันที สำหรับอุณหภูมิในตู้อบควรมีอุณหภูมิระหว่าง 70-80 องศาเซลเซียส ซึ่งในการอบให้แห้งนั้น ควรอบแผ่นธาตุให้มีความชื้นได้ไม่เกิน 1% สำหรับเตาอบแผ่นธาตุบวกแบบหลอดควรมีระบบระบายอากาศด้วยในระหว่างการทำงาน

การผลิตแผ่นธาตุลบ

1. โครงกริด (grid) หมายถึงแผ่นรองรับในเบตเตอร์ตะกั่ว - กรด สำหรับใช้ทำแผ่นธาตุ ซึ่งมีส่วนประกอบของโลหะผสมตะกั่วกับแอนติโมนี 3.7 % ในการทำการหล่อกริดหรือแผ่นรองรับ สำหรับในการหล่อแผ่นกริดต้องทำการหล่อในแบบหล่อกริดตามรูปร่างที่ออกแบบไว้ โดยต้องทำการตรวจสอบน้ำหนักและความหนาของแผ่นรองรับตามมาตรฐานที่กำหนด

2. การฉาบ หมายถึง การนำเนื้อเพลทที่ผสมเสร็จเรียบร้อยแล้วมาฉาบลงบนโครงกริด (grid) โดยที่เนื้อเพลทจะประกอบด้วยผงตะกั่วชั้นออกไซด์ กรดกำมะถัน น้ำกลั่น วาสลินและสารเคมีอื่นๆ ตามมาตรฐานในการออกแบบไว้สำหรับแผ่นรองรับได้ตามมาตรฐานส่วนการฉาบเนื้อเพลทนั้นต้องฉาบให้เต็มทั้งสองด้านและความชื้นของเนื้อเพลทควรมีค่าไม่น้อยกว่า 9% เมื่อทำการฉาบเนื้อเพลทเสร็จสิ้นลงแล้วควรทำการ Curing ทันทีโดยที่น้ำหนักของแต่ละแผ่นควรเป็นไปตามมาตรฐานในการออกแบบไว้

3. การอบบ่ม หมายถึง การนำแผ่นที่ฉาบเนื้อเพทเสร็จเรียบร้อยแล้วมาทำการอบบ่มหรืออบแห้งให้แผ่นธาตุแห้ง สำหรับในการอบบ่มจะใช้ผ้ากระสอบชุบน้ำให้เปียกหมาดๆ คลุมแผ่นธาตุเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง และเมื่อแผ่นธาตุแห้งแล้วให้นำผ้าคลุมออกแล้ววางทิ้งไว้ ใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 72 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดการอบบ่มแผ่นธาตุควรมีปริมาณตะกั่วไม่เกิน 2% และความชื้นในแผ่นธาตุไม่ควรเกิน 1%

การประกอบแบตเตอรี่ไฟฟ้า

1. การประกอบเซลล์แบตเตอรี่ไฟฟ้า

- 1.1 แผ่นธาตุบวกต้องผ่านการแช่กรดล้างน้ำและอบแห้งเรียบร้อยแล้ว
- 1.2 ต้องขัดแผ่นธาตุให้สะอาดก่อนนำมาวางเรียงเป็นกลุ่มเซลล์
- 1.3 สันแผ่นกันต้องอยู่ติดกับแผ่นธาตุบวก
- 1.4 แผ่นธาตุลบต้องผ่านการ Curing และอบแห้งเรียบร้อยแล้ว

2. กระบวนการการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ไฟฟ้า

2.1 ในการผลิตเซลล์แบตเตอรี่จะประกอบแผ่นธาตุที่ผ่านการแช่กรดกำมะถันเจือจาง

ถ.พ. 1.10

2.2 อุณหภูมิในการแช่กรดกำมะถันไม่ควรเกิน 50°C หลังจากการเติมกรดแล้ว 3 ชั่วโมง

3. การประกอบเซลล์แบตเตอรี่

3.1 เซลล์แบตเตอรี่ที่จะนำมาประกอบต้องผ่านกระบวนการแช่กรดกำมะถันเรียบร้อยแล้ว ถ้าลูกค้าต้องการแบตเตอรี่ไฟฟ้าที่พร้อมใช้งาน (Wet charged)

3.2 ต้องทราบรายละเอียดของแบตเตอรี่ไฟฟ้าที่จะประกอบ เช่น ขนาดแรงดันไฟฟ้า ความจุ ทิศทางการวางเซลล์ ตำแหน่ง ชนิดของปลั๊ก ขนาดและความยาวสายไฟ

3.3 เมื่อประกอบเสร็จและพร้อมจะนำส่งลูกค้า ต้องมีการตรวจสอบ เช่น แรงดันไฟฟ้า

ถ.พ. กรด และรายละเอียดอื่นๆ ตรงตามความต้องการของลูกค้า

3.3.1 แรงดันไฟฟ้าต่อเซลล์ไม่ควรน้อยกว่า 2.10 โวลต์

3.3.2 ถ.พ. กรด แต่ละเซลล์ ควรมีค่า 1.270 ± 0.005

4. การประจุไฟแบตเตอรี่ไฟฟ้า (Dry Charges)

4.1 แบตเตอรี่ที่จะบรรจุไฟฟ้าต้องเป็นเซลล์ที่ประกอบจากแผ่นธาตุที่ผ่านกระบวนการแล้ว

4.2 ใช้กรดกำมะถันเจือจาง ถ.พ. 1.270 เดิม

4.3 ให้แผ่นธาตุดูดซับน้ำกรดอย่างน้อย 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิกรดไม่สูงกว่า 35°C จึงสามารถเริ่มประจุไฟได้

4.4 ประจุไฟด้วยอัตรากระแสไฟฟ้า 4 % ของค่าความจุแบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่มีค่าความจุ 400Ah หมายความว่า ประจุไฟด้วยกระแส 16 แอมแปร์

4.5 ก่อนเริ่มประจุไฟควรตรวจแรงดันไฟฟ้าและ ถ.พ. กรดแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่

4.6 อุณหภูมิกรดระหว่างการประจุไฟไม่ควรเกิน 55°C

- 4.7 ถ.พ. กรดแต่ละเซลล์ที่ชั่วโมงสุดท้ายควรมีค่า 1.270 \pm 0.005
- 4.8 แรงดันไฟฟ้าแต่ละเซลล์ที่ชั่วโมงสุดท้ายไม่ควรน้อยกว่า 2.5 โวลต์
- 4.9 แคดเมียมบวกแต่ละเซลล์ที่ชั่วโมงสุดท้ายไม่ควรน้อยกว่า 2.4 โวลต์
- 4.10 แคดเมียมลบแต่ละเซลล์ที่ชั่วโมงสุดท้ายไม่ควรน้อยกว่า - 0.1 โวลต์

เซลล์ตะกั่ว - กรด

แบตเตอรี่ที่ใช้สำหรับให้กำลังในการเคลื่อนที่ โดยส่วนใหญ่แล้วเป็นชนิดตะกั่ว –กรด เราจะมาทำความเข้าใจในรายละเอียดกันว่า แบตเตอรี่ประเภทนี้ทำงานอย่างไร รวมถึงหลักการพื้นฐาน ของเซลล์ทุติยภูมิทั้งหมด

แผ่นเพลท

เพลทหรือแผ่นโลหะตัวนำที่เป็นขั้วลบ จะใช้แผ่นละอองตะกั่วทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้น ขณะที่เพลทขั้วบวกจะใช้ Brown Lead Dioxide ซึ่งแผ่นเพลททั้งสองขั้วนี้จะเชื่อมอยู่ในสารละลายนำไฟฟ้ากรดซัลฟิวริก เจือจาง ประวัติการพัฒนาแบตเตอรี่ที่ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ทั่วโลกแตกต่างกันออกไป ในยุโรปเราใช้เพลทขั้วบวกเป็นท่อกลมขณะที่ในสหรัฐอเมริกาจะใช้แผ่นเพลทแบบแบน เพลทขั้วบวกแบบท่อกลมประกอบด้วยท่อหลอดเล็กๆ ของตะกั่วพลวง ซึ่งถูกล้อมรอบโดยกระบอกสวมเป็นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยาและเติมด้วยรูพรุน เช่น terylene ที่วางโดยรอบระหว่างท่อหลอดเล็กๆและกระบอกสวมจะเต็มไปด้วยวัสดุกระตุ้นเป็นตะกั่วไดออกไซด์

ในกรณีที่เป็นแผ่นเพลทแบบแบน แผ่นเพลทจะทำมาจากแผ่นตะกั่วอัลลอยด์เรียงซ้อนกันให้มีช่องว่างเล็กน้อย (grids) เป็นโครงตาข่าย ซึ่งบรรจุตะกั่วออกไซด์เอาไว้ภายใน ส่วนเพลทขั้วลบ ของเซลล์แบบท่อ ซึ่งต้องเข้ากับความบรรจุไฟฟ้าของเพลทขั้วบวกเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีประสิทธิภาพขึ้นจะได้รับการออกแบบมาเหมือนกับแผ่นเพลทขั้วบวก แต่ภายในโครงตาข่ายจะบรรจุละอองตะกั่วบริสุทธิ์

โครงสร้างของเซลล์

เพลทขั้วบวกและขั้วลบจะอยู่ในกล่องบรรจุ ซึ่งปกติจะเรียกว่า กล่องเซลล์ (Cell Box) ขั้วบวกวางอยู่และถัดไปจะเป็นขั้วลบ ในเซลล์ตะกั่วกรดจะมีแผ่นเพลทเป็นจำนวนคืออยู่เสมอที่เกินมาหนึ่งจะเป็นขั้วลบอย่างเช่น มีแผ่นเพลท 13 แผ่น จะเป็นขั้วลบ 7 แผ่น ขั้วบวก 6 แผ่น เป็นต้น

พลังงานถูกสร้างขึ้นจากการเรียงเพลทขั้วบวกและขั้วลบสลับกันและวางเพลทขั้วลบในกระบอกแยกสัญญาณไฟฟ้าในขณะเดียวกัน เพลทขั้วบวกถูกเชื่อมต่อกัน ส่วนเพลทขั้วลบถูกเชื่อมต่อกับเซลล์ทำให้สมบูรณ์ โดยการให้ความร้อนปิดผนึกจากด้านบนกล่องเซลล์ เซลล์ที่ขั้วบวกของเซลล์หนึ่งเชื่อมต่อกับขั้วลบของเซลล์ที่อยู่ติดกันจะเรียกว่าเป็นการเรียงตัวกันแบบอนุกรมการเรียงตัวแบบต่อเนื่องกันแบบอนุกรมจะทำให้มีความต่างศักย์เพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามความจุกระแสไฟฟ้าใน 1 ชั่วโมงของแบตเตอรี่จะยังคงเท่าเดิมของเซลล์เดี่ยวๆ หนึ่งเซลล์ ส่วนเซลล์ที่จัดเรียงในแบบคู่ขนาน จะมีลักษณะขั้วบวกทั้งหมดถูกรวมเข้าด้วยกัน และ ขั้วลบทั้งหมดเชื่อมต่อกัน แล้วการเรียงตัวแบบนี้จะมีความต่างศักย์เท่ากับเซลล์เดียว แต่ความจุกระแสไฟฟ้าจะเป็นผลรวมของความจุไฟฟ้าของเซลล์แต่ละตัว

สารละลายนำไฟฟ้า

สารละลายที่เน้นื่อนำไฟฟ้า จะใช้ได้เมื่อทำการประจุไฟฟ้าลงไปตามทางขั้วบวกและขั้วลบ กรดกำมะถันในน้ำกลั่นบริสุทธิ์จะมีประสิทธิภาพสูงมากในขณะอัดกระแสไฟฟ้สารที่มีความเข้มข้นสูงจะเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น การให้ประสิทธิภาพสูงสุด (เมื่ออัดกระแสไฟฟ้าเต็ม) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและชนิดของสารละลายหรือชนิดของแบตเตอรี่ การออกแบบแบตเตอรี่จะต้องให้เหมาะสมกับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้และกระแสไฟที่สูง สารละลายจะแข็งตัวในสภาพอากาศเย็นในขณะที่อุณหภูมิสูง ความหนาแน่นจะต่ำและเมื่อนำไปใช้งานควรสังเกตการกัดกร่อนของตะแกรงที่อยู่ภายในเมื่ออุณหภูมิสูง

การทำงานของแบตเตอรี่

รายละเอียดการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นขณะที่แบตเตอรี่กำลังอยู่ในวงจรการทำงานโดยที่แบตเตอรี่จะเปลี่ยนสถานะในขั้นตอนการชาร์จและการดิสชาร์จ

เพลทขั้วบวก เพลทขั้วลบ สารละลายนำไฟฟ้า

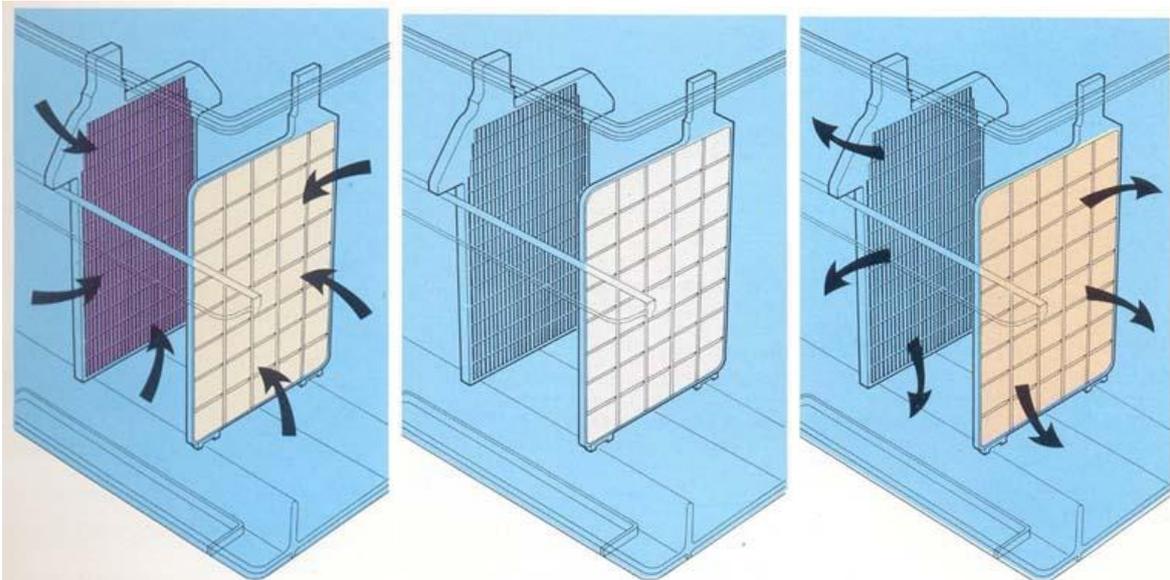


ตะกั่วไดออกไซด์ ตะกั่ว กรดซัลฟูริก การชาร์จ

เพลทขั้วบวก เพลทขั้วลบ สารละลายนำไฟฟ้า



ตะกั่วซัลเฟต ตะกั่วซัลเฟต น้ำ การดิสชาร์จ



ภาพที่ 2.3 การทำงานของแบตเตอรี่

ที่มา : Understanding Motive Power Batteries and Chargers P. 17

หลักการทำงานของแบตเตอรี่

เมื่อแบตเตอรี่มีการจ่ายพลังงานออกมาเราเรียกว่า การดิสชาร์จ พลังงานจะถูกสร้างโดยกรดกำมะถันในสารละลายนำไฟฟ้าที่ค่อยๆ รวมตัวกับวัสดุกระตุ้นของแผ่นเพลท สำหรับการรวมตัวกันนี้ก่อให้เกิดสารตะกั่วซัลเฟตทั้งในเพลทขั้วบวกและขั้วลบอย่างสมบูรณ์จนกลายเป็นซัลเฟตทั้งหมด จะทำให้ความต่างศักย์ก็จะหมดไปหรือเรียกว่า แบตเตอรี่หมด แต่เมื่อต้องการใช้งานแบตเตอรี่ใหม่ควรนำแบตเตอรี่ไปประจุไฟฟ้า เราเรียกว่า การชาร์จประจุไฟฟ้า เมื่อเซลล์ได้รับการชาร์จ วัสดุกระตุ้นของเพลทขั้วบวกจะเป็นตะกั่ว ไดออกไซด์และเพลทขั้วลบจะเป็นโลหะตะกั่ว โดยที่ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายนำไฟฟ้าจะมีค่าสูงสุดปฏิกิริยาย้อนกลับต่อการดิสชาร์จนี้จะทำให้แบตเตอรี่เต็ม สามารถใช้งานได้ตามเป้าหมายที่ต้องการ

การอัดแรงดันไฟฟ้า

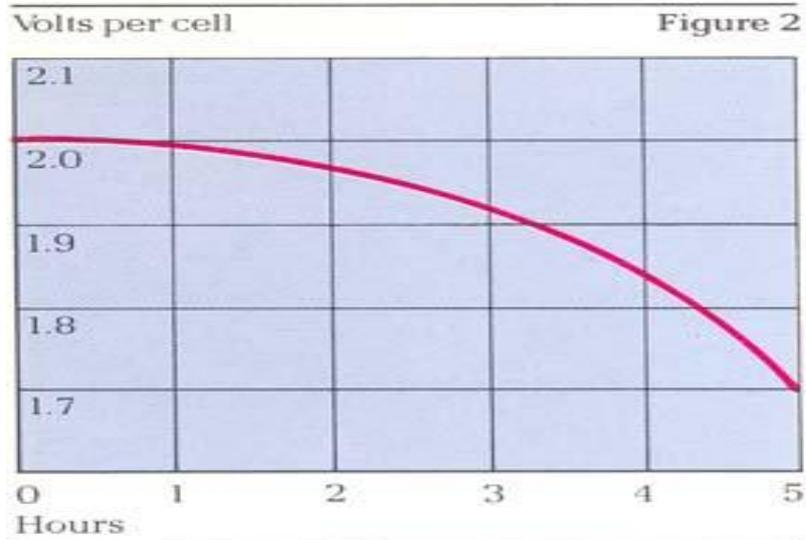
เมื่อ ทำการอัดกระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นในทันทีทันใด ความหนาแน่นอะตอมในสารละลายภายในของวัสดุที่ใช้ทำให้เกิดปฏิกิริยา จากนั้นแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะถูกควบคุมโดยอัตราการเกิดกรด ซึ่งถูกผลิตขึ้นโดยแผ่นตะกั่ว และอัตราการแพร่ของอะตอมอิสระภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี เมื่อแรงดันไฟฟ้าขณะอัดไฟถึง 2.4 โวลต์ โดยประมาณการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าจะหยุดลง ในช่วงนี้สารละลายจะมีการเปลี่ยนเป็นตะกั่วซัลเฟตเกือบทั้งหมดส่วนมากการอัดกระแสไฟฟ้าเป็นการใช้แยกสารละลายกรดซัลฟูริกในไฮโดรเจน ออกซิเจนและเซลล์เริ่มต้นของก๊าซอิสระเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนได้ระดับแรงดันไฟฟ้าก็จะไม่เพิ่มขึ้นอีก

การจ่ายแรงดันไฟฟ้า

ผลกระทบของการจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะตรงข้ามกับการอัดแรงดันไฟฟ้าภายในตัวด้านทานของเซลล์ไฟฟ้า จะเกิดแรงดันไฟฟ้าตกลงเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเป็นเหตุให้แรงดันไฟฟ้าขณะจ่ายไฟน้อยลงถึงเป็นการเปิดวงจรไฟฟ้า ดังแสดงไว้ในสมการ

$$\text{แรงดันไฟฟ้าขณะจ่ายไฟ} = \text{แรงดันไฟฟ้าในการเปิดวงจร} - (\text{ค่าของตัวต้านทานภายใน})$$

เส้นโค้งในภาพประกอบด้านล่างแสดงผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าขณะจ่ายกระแสไฟฟ้าภายในเวลา 5 ชั่วโมง ของเซลล์ไฟฟ้าเคมีชนิดตะกั่ว



ภาพที่ 2.4 การจ่ายแรงดันไฟฟ้า

ที่มา :Understanding Motive Power Batteries and Chargers P. 18

ความจุไฟฟ้า

ความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะแตกต่างกันตามกระแสไฟที่ถูกจ่ายออกไป ถ้ากระแสไฟที่แบตเตอรี่จ่ายออกไปสูง ความจุไฟฟ้าที่แบตเตอรี่บรรจได้จะต่ำ ตัวอย่างเช่น ถ้าแบตเตอรี่มีความจุไฟฟ้า 500 แอมแปร์-ชั่วโมง จ่ายไฟได้ 5 ชั่วโมง จะให้กระแสไฟ 100 แอมป์ สำหรับ 5 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามถ้าใช้แบตเตอรี่ชนิดเดียวกันนี้ โดยจ่ายไฟ 200 แอมป์ จะให้กระแสไฟได้ 2 ชั่วโมงเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ถ้าหากใช้ความจุไฟฟ้าที่ 400 แอมป์ สามารถจ่ายไฟได้ 2 ชั่วโมง ประสิทธิภาพที่ได้จะสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกลงอย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 2.5 ความจุไฟฟ้า

ที่มา : Understanding Motive Power Batteries and Chargers P. 18

ความจุไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงที่อัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน แสดงไว้ในภาพประกอบ ด้านบน ความจุไฟฟ้าแสดงไว้เป็นเปอร์เซ็นต์ของความจุไฟฟ้าปกติที่อัตราการจ่ายไฟ 5 ชั่วโมง ความจุไฟฟ้าปกติของ Motive Power แบตเตอรี่ให้อัตราการจ่ายไฟที่ 5-6 ชั่วโมง อัตราการจ่ายไฟที่สมมติขึ้นนี้มีความใกล้เคียงกับค่าการปฏิบัติงานจริงของรถบรรทุกในงานอุตสาหกรรมที่ทำงานเกินกว่า 8 ชั่วโมง อุณหภูมิโดยรอบก็จะมีผลกระทบต่อความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ด้วยกันเช่น ที่อุณหภูมิค่าความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะลดลงอย่างมาก

ความถ่วงจำเพาะ

ในการอ่านค่าความถ่วงจำเพาะของอิเล็กโทรไลต์ซึ่งจะบอกการจ่ายกระแสไฟของแบตเตอรี่ได้ดีที่สุดคือสภาวะการเป็นกรด ตามวัฏจักรของปฏิกิริยาเคมีขณะจ่ายไฟ เมื่อเซลล์ไฟฟ้าเคมีกำลังอัดกระแสไฟกรดที่เกิดจากแผ่นตะกั่วจะถูกทำให้แตกตัวภายในอิเล็กโทรไลต์ ทำให้เกิดกรดที่แก่กว่าค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้น เมื่อเซลล์ไฟฟ้าเคมีกำลังจ่ายไฟกรดในอิเล็กโทรไลต์จะรวมตัวเข้ากับวัสดุที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเกิดตะกั่วซัลเฟตและน้ำเป็นเหตุให้ค่าความถ่วงจำเพาะลดลง เพราะฉะนั้นเมื่อแบตเตอรี่ถูกอัดกระแสไฟจนเต็ม ค่าความถ่วงจำเพาะที่อ่านได้จะเป็นค่าที่สูงที่สุด และเมื่อจ่ายกระแสไฟจนหมด ค่าความถ่วงจำเพาะที่อ่านได้จะต่ำที่สุด ช่วงระหว่างการอัดกระแสไฟจนเต็มกับการจ่ายกระแสไฟจนหมดจะแตกต่างกันตามขนาดและการออกแบบเซลล์ไฟฟ้าเคมี เพราะปริมาณของกรดที่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับความจุไฟฟ้า เซลล์ไฟฟ้าเคมีชนิดตะกั่วของ Motive power แบตเตอรี่จะมีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.280 เมื่ออัดกระแสไฟฟ้าจนเต็ม ค่าความถ่วงจำเพาะนี้จะลดลง 0.140 ขณะที่เซลล์ไฟฟ้าเคมีกำลังจ่ายไฟ เพราะฉะนั้นถ้าเซลล์ไฟฟ้าเคมีจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ในอัตรา 5 ชั่วโมง ค่าความถ่วงจำเพาะจะลดลง 0.140 ทำให้อ่านค่าได้ 1.140 ($1.280 - 0.140 = 1.140$)

ประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพของเซลล์ไฟฟ้าเคมีคือ สัดส่วนของกระแสไฟขาออกกับกระแสไฟ ขาเข้าค่าประสิทธิภาพนี้จะถูกแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ และสามารถทำให้อยู่ในรูปของแอมป์ - ชั่วโมงหรือวัตต์ - ชั่วโมง

1. การวัดประสิทธิภาพโดยใช้แอมป์ - ชั่วโมง

การวัดประสิทธิภาพโดยใช้แอมป์ - ชั่วโมง คือ การวัดจำนวนของกระแสไฟที่จ่ายออกไปจากเซลล์ไฟฟ้าเคมีกับจำนวนที่ต้องอัดกระแสไฟกลับคืนเข้าไปจนเซลล์ไฟฟ้าเคมีอยู่ในสภาวะเดิมค่าประสิทธิภาพโดยใช้แอมป์ - ชั่วโมงของเซลล์ไฟฟ้าเคมีชนิดตะกั่วของ Motive Power มีค่าประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งาน ดังนั้น 100 แอมป์ - ชั่วโมง ต้องอัดกระแสไฟกลับคืนเข้าไปในเซลล์ไฟฟ้าเคมีทุกๆ 90 แอมป์ - ชั่วโมง ที่จ่ายกระแสไฟออกไป

2. การวัดประสิทธิภาพโดยใช้วัตต์ - ชั่วโมง

การวัดประสิทธิภาพโดยใช้วัตต์ - ชั่วโมง ของเซลล์ไฟฟ้าเคมีสำคัญว่าการวัดประสิทธิภาพโดยใช้แอมป์ - ชั่วโมง ในการพิจารณาในแง่ประสิทธิภาพของพลังงานวัตต์ - ชั่วโมงเป็นผลผลิตแอมป์ - ชั่วโมงและแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยในการคำนวณวัตต์ - ชั่วโมงให้ใช้ค่าการจ่ายกระแสไฟของเซลล์ไฟฟ้าเคมีหรือ ค่าการ

อัตรากระแสไฟของเซลล์ไฟฟ้าเคมี คุณด้วยเวลา (ชั่วโมง) แอมแปร์และแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย ด้วยเหตุนี้ ถ้าให้ค่าประสิทธิภาพเป็นแบบแอมแปร์-ชั่วโมง เราสามารถหาค่าประสิทธิภาพเป็นแบบวัตต์ - ชั่วโมงได้โดยคุณด้วยสัดส่วนของแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยขณะจ่ายกระแสไฟกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยขณะอัตรากระแสไฟฟ้า ดังนั้นถ้าให้ค่าประสิทธิภาพแอมแปร์- ชั่วโมงมา 90 เปอร์เซนต์ แรงดันไฟฟ้าขณะจ่ายไฟเฉลี่ย 1.9 และแรงดันไฟฟ้าขณะอัตรากระแสไฟเฉลี่ย 2.4 ค่าประสิทธิภาพแบบวัตต์ - ชั่วโมง ควรจะเป็น : $(90 \times 1.9) / 2.4 = 71.3 \%$

ภายใต้สภาวะปกติในการทำงานค่าประสิทธิภาพแบบ วัตต์- ชั่วโมงเฉลี่ยของ MotivePower แบตเตอรี่อยู่ระหว่าง 70-75% หากลดแรงดันไฟฟ้าขณะจ่ายไฟหรือเพิ่มแรงดันไฟฟ้า ขณะอัดไฟจะทำให้ค่าประสิทธิภาพลดลงอัตราการอัดและการจ่ายกระแสไฟจะสูง ดังนั้นการหาค่าประสิทธิภาพแบบวัตต์ - ชั่วโมงที่ดีที่สุดควรหาที่กระแสต่ำ แต่ต้องจำไว้ว่าการอัตรากระแสไฟควรอยู่ในช่วงที่จำกัดที่แนะนำไว้โดยผู้สร้างแบตเตอรี่

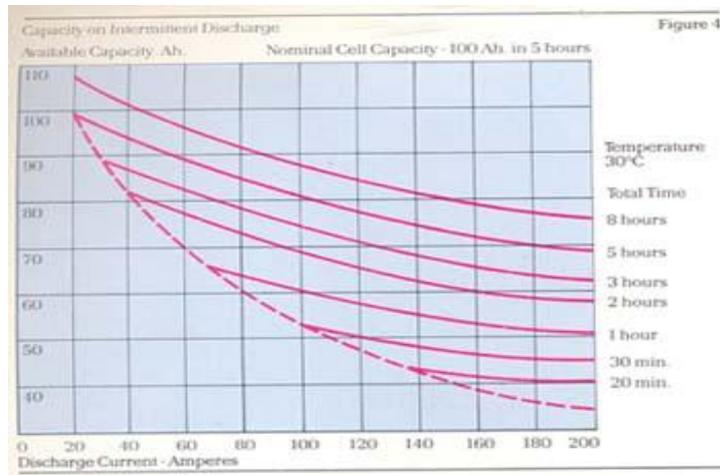
เลือกแบตเตอรี่

ในกรณีของการนำไฟฟ้าหรืออุตสาหกรรมรถบรรทุก ขนาดของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับเบอร์และชนิดของการนำไฟฟ้าการทำงานของมันจะทำหน้าที่อยู่ตลอดเวลาและขึ้นอยู่กับความต้องการนำไปใช้ ถ้าคิดค่าเฉลี่ยระยะทางการใช้งานแล้วรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งจะใช้มากกว่าและลิฟท์ที่มีน้ำหนักมากก็ต้องการใช้พลังงานความจุจากแบตเตอรี่สูงอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตาม ถึงอย่างไรก็ไม่ใช่ว่าเรื่องง่ายจำนวนความจุของแบตเตอรี่มีผลอย่างมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหมายเลขที่บ่งบอกค่าแบตเตอรี่และขนาดของแผ่นเซลล์ จะเห็นได้ว่าผู้ผลิตแบตเตอรี่ไม่สามารถที่จะออกแบบได้ตามที่ผู้ซื้อต้องการ ตามปกติผู้ผลิตแบตเตอรี่ต้องเว้นช่องว่างให้พอดีกับการบรรจุแบตเตอรี่ ต้องมีการตกลงกันระหว่างผู้ออกแบบและผู้ซื้อทั้งหมด ขนาดของแบตเตอรี่นั้นต้องมีขนาดที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในทฤษฎีของเรื่องไฟฟ้า ในทางปฏิบัติ เพราะฉะนั้น โดยปกติความจุของแบตเตอรี่จะต้องมีการคำนวณเพื่อจะนำไปใช้กับรถบรรทุกที่ต้องการความมั่นคง ซึ่งรถบรรทุกมีน้ำหนักมากที่สุดและต้องมีมาตรฐานที่จะใช้กับรถบรรทุก โดยปกติก็จะมีข้อกำหนดเกี่ยวกับความจุสูงสุด ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ ความต้องการพาหนะมีมากมาย ความแตกต่างของหน้าที่ตามต้นกำเนิด และช่วงเวลาของแบตเตอรี่ ดังนั้นพาหนะที่มีการขนส่งมากจะต้องใช้ขนาดพลังงานที่เพียงพอกับหน้าที่ทำให้ค่าพลังงานเพียงพอกับการนำไปใช้ในการปฏิบัติงาน การคำนวณการใช้งานรวมถึงแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถปรับให้มีความเหมาะสมกับหน้าที่ระหว่างราคาตามความเป็นจริง จากการคำนวณความต้องการความจุของแบตเตอรี่

การคำนวณความต้องการพลังงาน

เครื่องจักรต่างๆที่อยู่บนถนนหรือในวงการอุตสาหกรรมต้องมีรูปแบบการใช้ต้องครอบคลุมเส้นทางที่แน่นอน ซึ่งจากการคำนวณจำนวนครั้งที่หยุดระยะทางการเดินรอบและลักษณะของภูมิประเทศ (มีความสำคัญมากต่อการเดินทางบนเนินเขาและป็นบนที่สูง) เหล่านี้เป็นตัวอย่างที่ต้องใช้พลังงานจาก

แบตเตอรี่ที่มีความจุมากๆ รถบรรทุกเช่นเดียวกันก็ต้องมีการคำนวณพลังงาน สิ่งที่ต้องการความเร็วมากๆ รถบรรทุกที่รับน้ำหนักมากๆ และการเดินทางไกลที่มีระดับพื้นผิวที่ไม่เรียบ



ภาพที่ 2.6 ความหลากหลายด้วยค่าของความจุของกระแสไฟที่ปลดปล่อย
ที่มา : Understanding Motive Power Batteries and Chargers P. 22

จำนวนการปลดปล่อยกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละครั้งนั้นจำเป็นต้องมีความรู้ในทุกด้าน เกี่ยวกับการคำนวณขั้นพื้นฐาน การปลดปล่อยกระแสไฟฟ้าที่รับจากแบตเตอรี่ ค่าของมันขึ้นอยู่กับเวลา (1 นาที) โดยจะต้องมีการนำไปทดลองปฏิบัติเป็นขั้นตอนดูจากสถิติ ค่า แอมแปร์ / นาที ซึ่งในภาพจะบอกถึงค่าของกระแสไฟฟ้าใน 1 นาที ด้วยการทำงานอย่างสมบูรณ์ สำหรับตัวอย่าง เช่น ลิฟท์ที่ขนาด 2 ตัน ต้องการประสิทธิภาพในการปลดปล่อยพลังงานอยู่ที่ 200 แอมแปร์ ต่อ 1/4 นาที หรือ 50 แอมแปร์ ต่อนาที (1/4 นาที = 200 แอมแปร์) รถบรรทุกที่ใช้ในการเดินทาง 6 เมตร ที่ 1 เมตร/2 ครั้ง ซึ่งมีการปลดปล่อยกระแสไฟฟ้าออกมา 80 แอมแปร์ หรือ 480 แอมแปร์ในครั้งที่ 2 ซึ่งการคำนวณในรูปของหน่วย แอมแปร์ / นาที แล้วแปลงมาเป็น แอมแปร์ / ชั่วโมง ตัวเลขทั้งหมดเป็นค่ากระแสแอมแปร์ / ชั่วโมง จะนำไปใช้กับมอเตอร์ของรถบรรทุก ถ้าจะใช้ในโรงงานต้องพิจารณาความจุของแบตเตอรี่ หรือการเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีหน่วยเป็น แอมแปร์ / ชั่วโมง การเลือกแบตเตอรี่ไปใช้กับรถบรรทุกนั้นต้องทำการกำหนดขนาดของแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน การทำระบบกราฟของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทำงานจนถึงการใช้พาหนะในการขนส่งจะลดจำนวนลง พาหนะที่ใช้แบตเตอรี่ในการทำงาน เริ่มมีการใช้คนน้อยลงการดูแลแบตเตอรี่ต้องดูให้แน่ใจว่าหน้าที่ของมันมีความต้องการและเหมาะสมกับงานที่นำไปใช้หรือไม่ มีราคาที่เปลี่ยนแปลงจากเดิมหรือไม่ดูในแง่ของควมมีประสิทธิภาพ การปฏิบัติและการเพิ่มพลังงานต้องรู้หลักทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งการเผชิญหน้ากับราคาแบตเตอรี่ในสถานการณ์ปัจจุบัน

2.3 สารประกอบคาร์บอน

2.3.1 คาร์บอนแบลค (Carbon Black)

คุณสมบัติของ คาร์บอนแบลค เป็นการจับตัวของวัสดุที่ทำปฏิกิริยาช่วยในการชาร์จไฟฟ้าและ ดิสชาร์จของแบตเตอรี่และหน้าที่ของ คาร์บอนแบลค ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าหรือสะพานไฟ

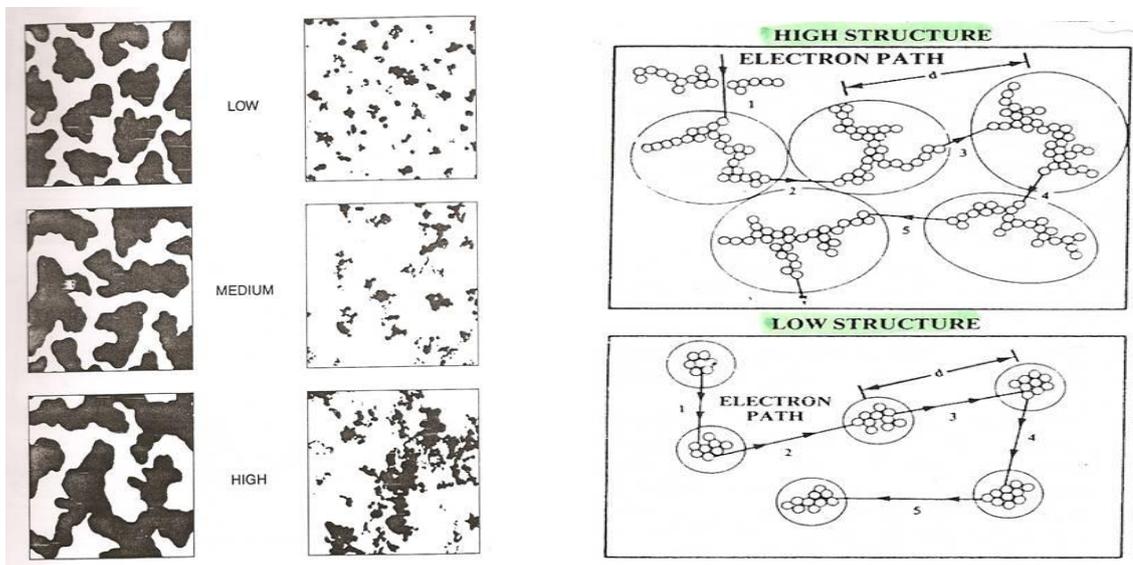
Specification

Carbon Black Type N 220

Carbon Black Type Printex XE2b

คาร์บอนแบลค (Carbon Black)เป็นส่วนประกอบของ Expander ที่มีหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าหรือ สะพานไฟ Carbon Black สามารถนำไฟฟ้าได้ดี มีผลมาจากสมบัติในการจับกลุ่มของอนุภาคจำนวนมาก ในลักษณะเป็นกิ่งก้านหรือสายโซ่มีความเป็นรูพรุนสูงและคุณภาพในการเกาะกลุ่ม (Aggregate) ส่งผล ต่อการนำไฟฟ้า โดยต้องเลือกเกรดของชนิด Carbon Black ให้เหมาะสมกับการใช้งานและมีผลต่อต้นทุน ในการผลิต

โครงสร้างของ Carbon blackประกอบด้วยส่วนต่างๆที่มีความสำคัญซึ่งมีลักษณะเป็นรูปแบบและ โครงสร้างโดยที่จำนวนของอนุภาคเล็กๆ ในการรวมตัวจะเป็นลักษณะการเกาะกลุ่ม (Aggregate) เข้า ด้วยกัน



ภาพที่ 2.7 Structure of Carbon Black

แสดงให้เห็นว่า High Structure Carbon Black มีลักษณะเฉพาะของการจับกลุ่มกัน ค่อนข้าง ใหญ่ ทำให้มีรูปแบบเป็นกิ่งก้านและสายโซ่ยาว ส่วน Low Structure Carbon Black นั้น ในการรวมตัวการ จับกลุ่มของอนุภาคน้อยจึงจับกลุ่มกันแน่นและแออัด

2.3.2 วัสดุขยาย (Expander materials)

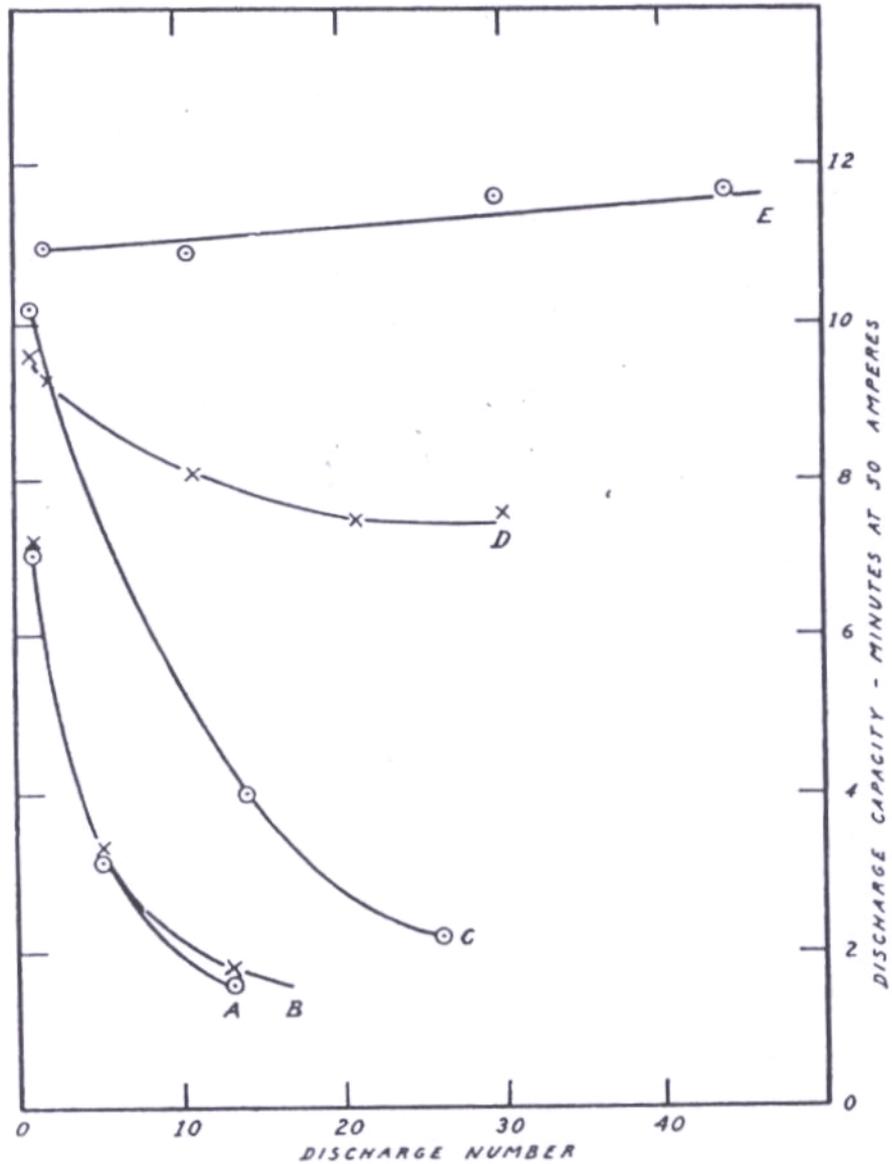
ตัวขยายในสารประกอบในแผ่นโลหะลบของที่สะสมแบตเตอรี่ แม้ว่าตัวนำฟองน้ำมีเพียง 1 % ของตัวขยายนั้น ตัวขยายเพิ่มความจุไฟฟ้าประมาณ 300 % เมื่อแบตเตอรี่ถูกทดสอบในสภาพเย็นนั้นคือ เมื่อเย็นจนถึง 0 องศาฟาเรนไฮต์ และถูกดิสชาร์จ (สภาวะที่แบตเตอรี่ต่อกับวงจรภายนอก) ที่ 300 แอมแปร์ การเพิ่มขึ้นของความจุไฟฟ้าที่ถูกดิสชาร์จเป็นผลมาจากการมีอยู่ของตัวขยาย ซึ่งเป็นความสำคัญอย่างมากจากมุมมองของผู้ใช้ มันมีความสำคัญมากจากมุมมองของผู้ผลิตเช่นกัน เพราะการเตรียมของตัวขยายคือปัญหาทางเทคนิคของการพิจารณาความสำคัญ

ความก้าวหน้าในการพัฒนาตัวขยายที่ดีขึ้นได้มีอุปสรรคเนื่องจากไม่มีทฤษฎีที่น่าพอใจสำหรับการทำงานของตัวขยายได้ถูกเสนอและทดสอบ ความพยายามในการแก้ไขสถานการณ์การศึกษาที่ครอบคลุมของกิจกรรมของตัวขยายได้เริ่มทำมาหลายปีแล้ว งานวิจัยก่อนหน้าอธิบายงานชิ้นนี้ด้วยผลกระทบของตัวขยายที่มีต่อคุณสมบัติของแบตเตอรี่ และคุณสมบัติของการทดสอบพิเศษที่อุณหภูมิห้อง งานวิจัยในปัจจุบันได้ทำเรื่องผลของการทำงานของตัวขยายก่อนหน้า และแสดงการอธิบายไปพร้อมกับผลสรุปของการทดลอง

ในงานวิจัยชิ้นแรกของชุดนี้ซึ่งไปที่ตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนได้ทำให้ความจุไฟฟ้าดีขึ้นหากเพิ่มแผ่นโลหะขั้วลบก่อนการดิสชาร์จ สิ่งนี้ชี้ให้เห็นว่าตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอน มีผลกระทบต่อกระบวนการดิสชาร์จโดยตรง กระบวนการดิสชาร์จได้ถูกศึกษาโดยทุกวิธีอย่างต่อเนื่อง เริ่มแรกกล้องไมโครสโคปถูกใช้ในการทดสอบโครงสร้างของแผ่นโลหะลบ มันถูกสังเกตว่าแผ่นชาร์จขั้วลบบรรจุแท่งตัวนำโลหะ เมื่อตัวขยายได้ถูกนำมาแสดง แท่งเหล่านี้กลายเป็นถูกเคลือบด้วยรูพรุนหยาบของตัวนำซัลเฟตในระหว่างการดิสชาร์จ ความจุไฟฟ้าของโวลเทจและการดิสชาร์จถูกจำกัดเพราะกรดภายในของรูพรุนของแผ่นซัลเฟตเหล่านี้ทำให้สั่นสภาพ มันเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อแผ่นบรรจุตัวขยายถูกดิสชาร์จที่อัตราสูง

เมื่อไม่มีตัวขยาย ก็ปรากฏว่าการดิสชาร์จนั้นแตกต่างออกไป ไม่พบแผ่นฟิล์มซัลเฟตในระหว่างการดิสชาร์จ อย่างไรก็ตามการวัดอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งชี้ว่า แผ่นฟิล์มได้ถูกแสดงในช่วงท้ายของการดิสชาร์จและความจุไฟฟ้าถูกจำกัดเนื่องจากความบางของมัน ชั้นที่ไม่เป็นรูพรุนของตัวนำซัลเฟตได้ดำเนินการทำปฏิกิริยาของพื้นผิวของชั้นนำโลหะ การดิสชาร์จสิ้นสุดเมื่อตัวนำซัลเฟตที่เหลืออยู่นั้นเล็กเกินกว่าที่จะรักษาระดับการดิสชาร์จ เนื่องด้วยตัวขยายทำให้ความจุไฟฟ้ามีมากขึ้น มันจึงป้องกันการก่อรูปของชั้นรูพรุนของตัวนำซัลเฟต ปฏิกิริยาของตัวขยายที่มีนัยสำคัญนี้คือการสร้างฟิล์มเคลือบรูพรุนของตัวนำซัลเฟตนั่นเอง งานวิจัยชิ้นนี้ได้อภิปรายวิธีโดยถูกทำให้สำเร็จ

ตัวขยายมักจะประกอบด้วยส่วนประกอบเล็กๆของเขม่า (lamp black), แบเรียม ซัลเฟต และลิกนินที่ได้รับการพัฒนามาจากตัวประกอบอื่นๆ ได้ถูกเสนอให้เป็นตัวขยายแทนลิกนิน แต่มันถูกตั้งสมมติฐานว่ามีคุณลักษณะเหมือนลิกนินทุกประการ พฤติกรรมของเซลล์ที่ทดสอบที่ประกอบตัวขยายเหล่านี้ได้นำมาสรุปไว้ในภาพที่ 2.8



- A = No expanders of any sort
 B = Lampblack alone
 C = Barium sulfate alone
 D = Organic expander alone
 E = Both barium sulfate and organic expander

ภาพที่ 2.8 แสดงผลกระทบบของตัวขยายที่มีต่อความจุไฟฟ้าและชีวิตของแผ่นโลหะลบ

ภาพนี้แสดงผลกระทบของวงจรบนความจุไฟฟ้าของเซลล์ทดสอบประเภทต่างๆ มันเป็นหลักฐานที่ว่า ส่วนประกอบและแบเรียม ซัลเฟตนั้นทำให้ความจุไฟฟ้ามีมากขึ้น และเมื่อนำมันมาใช้ร่วมกัน มันส่งเสริมซึ่งกันและกัน อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติสำหรับเขม่าไม่มีผลกระทบทางตรงต่อความจุไฟฟ้า หน้าที่ที่แท้จริงของเขม่าก็คือ ไม่ได้เกี่ยวข้องในการอธิบายผลกระทบของตัวขยายที่มีต่อความจุไฟฟ้า การอธิบายครอบคลุมเพียง (1) พฤติกรรมของแผ่นบรรจุที่ไม่มีตัวขยาย (2) ผลกระทบของแบเรียม ซัลเฟต ที่มีต่อแผ่น (3) ผลของตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนที่ใช้ร่วมกันบนแผ่น ปัญหาของการทำงานของตัวขยายคือ การแก้ไขปัญหาข้างต้นทั้ง 4 ประการ

การศึกษาความเสื่อมของความจุไฟฟ้าของแผ่นโลหะลบที่ไม่มีตัวขยายนั้นมีหลักฐานในจุดเริ่มต้นของทฤษฎีตัวขยาย

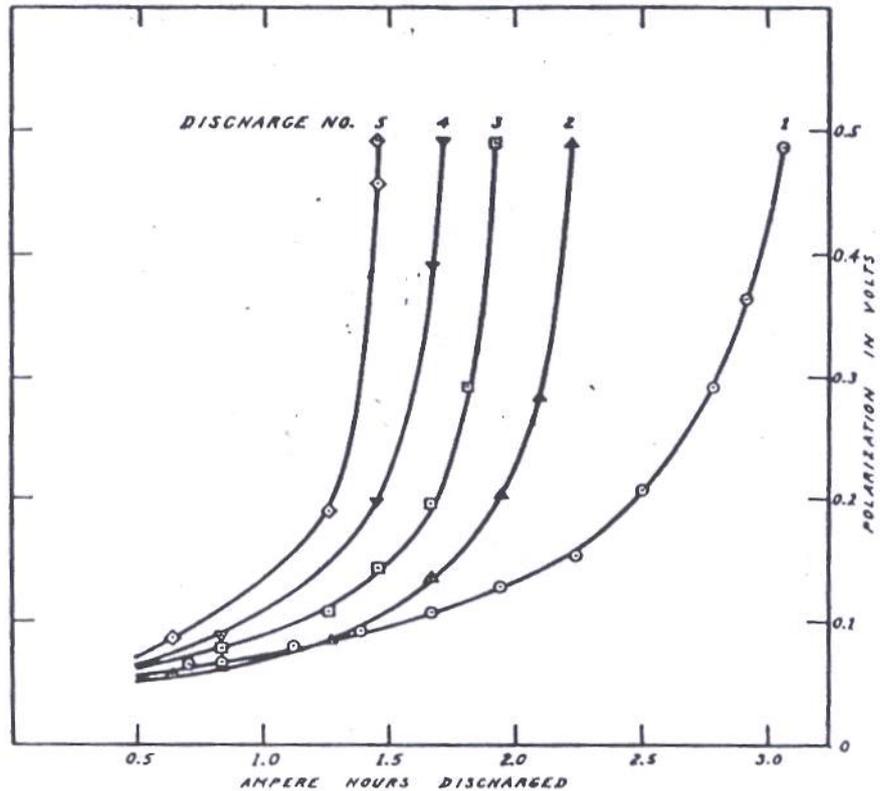
2.3.2.1 ผลกระทบเมื่อไม่มีตัวขยาย

วัตถุประสงค์ในการศึกษาแผ่นบรรจุที่ไม่มีตัวขยาย แผ่นถูกสร้างด้วย litharge บริสุทธิ์, น้ำ กรดซัลฟิวริก, ไม่มีเขม่า, แบเรียม ซัลเฟต หรือตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนประกอบอยู่ในแผ่นนั้น ไม่ได้มีการอธิบายสารที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบจากตัวแยกโดยการรวมเซลล์ทดสอบในเหยือก เมื่อแผ่นถูกวาง, ก่อรูป และอยู่ภายใต้เงื่อนไขตามวิธีปกติ ดังนั้นพวกมันจึงได้รับชุดของการดิสชาร์จที่อุณหภูมิห้องประมาณ 3 นาที ภายหลังที่เซลล์เหล่านี้ได้ดิสชาร์จก็ถูกชาร์จใหม่ข้ามคืน

ในระหว่างการดิสชาร์จของตัวต่อต้านและโวลเทจของแผ่นโลหะลบแต่ละอันถูกทำการวัด การทำให้เป็นแม่เหล็ก (polarization) ถูกคำนวณตามวิธีที่ได้กล่าวข้างต้น การทำให้เป็นแม่เหล็ก นี้มีความสำคัญเนื่องจากมันเป็นปัจจัยในการจำกัดความจุไฟฟ้าของแผ่นโลหะลบประเภทนี้ การทำให้เป็นแม่เหล็กของแต่ละดิสชาร์จ 5 อันแรกได้แสดงในภาพที่ 2.9 ซึ่งให้ภาพที่สมบูรณ์ของผลกระทบของวงจรบนการทำให้เป็นแม่เหล็กในระหว่างการดิสชาร์จ

ความผันแปรของเส้นโค้งสามารถถูกตีความอย่างมีเหตุผล โดยสมมติฐานภายใต้เงื่อนไขการทดสอบจำนวนของการทำให้เป็นแม่เหล็กที่ได้ให้มาทันที ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณพื้นผิวของตัวนำโลหะในทันที ทฤษฎีนี้ถูกใช้ครั้งแรกในการอธิบายการทำให้เป็นแม่เหล็กในช่วงท้ายของการดิสชาร์จเบอร์ 3 ซึ่งถูกทำให้แน่นชัดโดยผลของการทดลองประเภทต่างๆ และสามารถนำมาขยายไปสู่การอธิบายชุดของเส้นโค้งการทำให้เป็นแม่เหล็กทั้งหมดที่แสดงไว้ในภาพที่ 2.9 คำอธิบายที่ได้มานั้นสอดคล้องกับข้อมูลการทดลองที่มีอยู่ในขณะนี้

ในช่วงการเริ่มต้นของเส้นโค้งแต่ละเส้นนั้น การทำให้เป็นแม่เหล็กถูกแสดงประมาณ 0.05 โวลต์ ตามทฤษฎีที่นำมาพิจารณานั้น มันหมายถึงขอบเขตของพื้นผิวดำน้ำฟองน้ำที่มีอยู่ในช่วงต้นของการดิสชาร์จไม่ได้ถูกเปลี่ยนแปลงโดยวงจร ความแตกต่างที่ตามมาท่ามกลางเส้นโค้งของการทำให้เป็นแม่เหล็กสูงชี้ว่า พื้นผิวของตัวนำส่วนน้อยเท่านั้นที่มีการดิสชาร์จ ผลสรุปได้ถูกแสดงไว้แล้ว และการทดลองในงานตีพิมพ์ก่อนหน้านี้



ภาพที่ 2.9 แสดงการทำให้เป็นแม่เหล็กในช่วงการดิสชาร์จที่สำเร็จของแผ่นโลหะลบ
โดยปราศจากตัวขยาย

ข้อมูลที่เหมือนกันได้ถูกนำมาสำหรับการทดสอบการดิสชาร์จ ทุกข้อมูลบ่งชี้ว่า ในช่วงท้ายของการดิสชาร์จสาเหตุหลักของการทำให้เป็นแม่เหล็กที่จำกัดความจุไฟฟ้า เมื่อไม่มีตัวขยายคือ การสูญเสียพื้นผิวของตัวนำ

ในช่วงต้นและช่วงท้ายของเส้นโค้งการทำให้เป็นแม่เหล็กได้ถูกอธิบายในระหว่างการดิสชาร์จที่ยังเหลืออยู่นั้น รูปร่างต่างๆของเส้นโค้งชี้ว่า ได้มีการสร้างแผ่นฟิล์มซัลเฟตเร็วขึ้นเมื่อแผ่นวงจรถูกดิสชาร์จมากกว่ากรณีที่เป็นแผ่นใหม่ถูกดิสชาร์จ สิ่งนี้ชี้ให้เห็นว่าวงจรเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลง คุณลักษณะของพื้นผิวตัวนำ การเปลี่ยนแปลงที่สร้างการรับมากกว่าไปเป็นการฝังหรือยึดของพื้นผิวตัวนำ การสูญเสียความจุไฟฟ้าที่วงจรที่ถูกค้นพบในการทดลองนี้ คือผลของการเปลี่ยนแปลงบางประการในคุณลักษณะของพื้นผิวตัวนำที่มีวงจร

การทดลองหลายๆครั้งได้มีความพยายามในการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของพื้นผิวให้มากขึ้น การสังเกตด้วยกล้องไมโครสโคปได้ชี้ให้เห็นถึงธรรมชาติการเปลี่ยนแปลงวิธีอื่นๆของการศึกษาที่อธิบายได้อย่างดี งานค่อยๆมีการพัฒนา และมีการคาดการณ์ว่าข้อมูลที่เพิ่มขึ้นสามารถนำมา

แสดงได้ในอนาคตอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามมันได้เป็นหลักฐานที่ว่า วงจรเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของพื้นผิวของตัวนำในวิธีการเดียวกัน

2.3.2.2 ผลกระทบของแบเรียม ซัลเฟต

ขั้นต่อไปของการทดลองภายใต้การอธิบายคือ การศึกษาผลกระทบของแบเรียม ซัลเฟตที่ใช้ในการวางโดยไม่มีตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอน ข้อมูลถูกแสดงในภาพที่ 2.8 ซึ่งว่าแบเรียม ซัลเฟตนั้นมีประสิทธิภาพเมื่อใช้โดยที่ไม่มีตัวขยาย ดังเช่น เชม่า หรือวัสดุที่เป็นสารประกอบคาร์บอน



ภาพที่ 2.10 แสดงแบเรียม ซัลเฟตที่ใช้อยู่ในเบตเตอริชยาย 1000 เท่า

การทดลองถูกออกแบบเพื่อแสดงว่าความจุไฟฟ้าที่ดีขึ้น เป็นผลมาจากกิจกรรมของแบเรียม ซัลเฟตในระหว่างกระบวนการดิสชาร์จ เซลล์ทั้ง 4 ถูกเตรียมโดยไม่มีตัวขยาย และถูกวงจรจนกระทั่งความจุได้ถูกทำให้เสื่อมลง ความจุไฟฟ้าของแต่ละตัวถูกวัดอย่างระมัดระวัง จากนั้นเซลล์ถูกชาร์จใหม่และแบเรียม ซัลเฟตถูกเร่งในรูปพูนของแผ่นโลหะลบของเซลล์ทั้ง 2 มันถูกทำให้สำเร็จโดยการล้างกรดออกจากแผ่นโลหะลบที่ถูกชาร์จ จากนั้นรินแบเรียม ไฮดรอกไซด์ ลงใน 2 แผ่นนั้น และสุดท้ายนำแผ่นนั้นไปคืนไว้ที่กรด เบตเตอริ แผ่นคู่ที่ 2 ที่ถูกควบคุมแบบเดียวกันกับ 2 คู่แรก ยกเว้นมีการใช้โซเดียม ไฮดรอกไซด์จะไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงใดๆในแผ่นต่างๆเพียงแต่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญด้วยแบเรียม ซัลเฟตเท่านั้น เซลล์ทดสอบทั้ง 4 ตัวถูกนำมารวมใหม่และถูกดิสชาร์จโดยไม่มีการรบกวน ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 1 ความจุไฟฟ้าที่สูงในระหว่างการดิสชาร์จเซลล์ครั้งสุดท้ายที่ได้รับแบเรียม ซัลเฟตไม่ได้แสดงในช่วงการก่อรูป, การชาร์จเซลล์ แต่แสดงในระหว่างการดิสชาร์จเท่านั้น ความจุไฟฟ้าที่ต่ำของเซลล์ที่ถูกควบคุมในระหว่างการดิสชาร์จภายหลังการปฏิบัติแสดงให้เห็นว่าเงื่อนไขอื่นๆของการทดสอบถูกทำให้คงที่ และไม่มีผลต่อการเพิ่มความจุไฟฟ้าของเซลล์ที่ใช้แบเรียม เป็นผลจากการเพิ่มแบเรียม ซัลเฟตลงไปบนแผ่น ไม่ได้

เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของเงื่อนไขการชาร์จหรือดิสชาร์จ หรือเป็นผลของภาวะที่เป็นต่างของแบเรียมไฮดรอกไซด์ที่ถูกใช้ในเซลล์

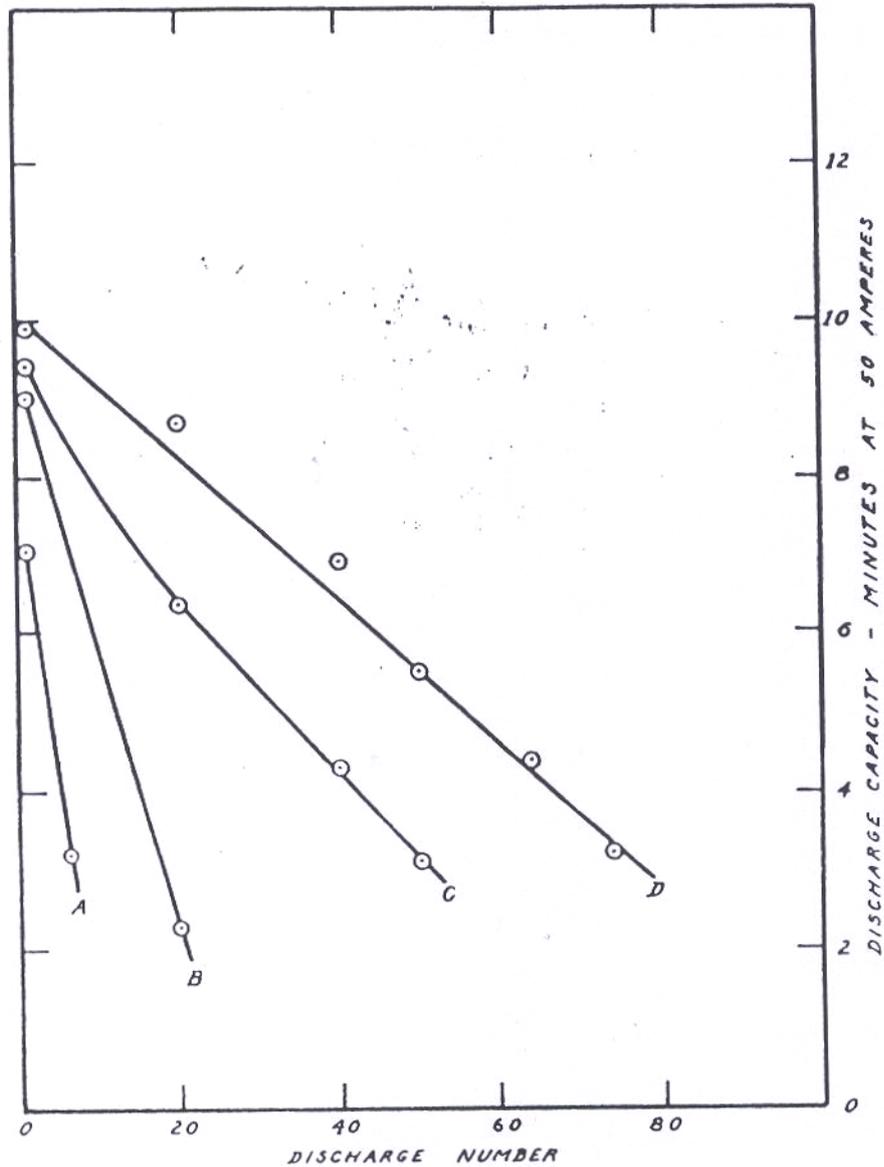
ตารางที่ 2.1 ผลกระทบของแบเรียม ซัลเฟตในระหว่างการดิสชาร์จของแผ่นโลหะลบ

Cell	Seconds Discharge at 50 Amperes	
	Before Treatment	After Treatment
Barium Treated.....	121	218
Barium Treated.....	140	285
Control	145	118
Control	120	121

[7]

ตัวบ่งชี้ขึ้นๆในธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของแบเรียม ซัลเฟต กลายเป็นหลักฐานในการพิจารณาข้อมูลที่แสดงในภาพที่ 2.10 รูปนี้แสดงถึงผลกระทบที่เกิดจากจำนวนแบเรียม ซัลเฟตที่ต่างออกไป เป็นที่ทราบกันดีว่า แบเรียม ซัลเฟตไม่ละลายในกรดแบตเตอรี่ ดังนั้นในทางปฏิบัติการเติมแบเรียมซัลเฟตได้แสดงแบบที่ยกวัตุดิบแข็ง การเปลี่ยนแปลงผลกระทบของความจุไฟฟ้า ดังนั้นการที่ความจุไฟฟ้าถูกทำให้ดีขึ้นจะต้องเกิดจากการกระทำบางอย่างของแบเรียมซัลเฟตแข็ง มันเป็นความจริงที่ว่า จำนวนของแบเรียม ซัลเฟตที่น้อยมากนั้นได้ละลายในกรดแบตเตอรี่ อย่างไรก็ตามจำนวนที่ละลายถูกจำกัดโดยความสามารถในการละลาย และไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการนำวัตุดิบแข็งมาใช้มากขึ้น เนื่องจากจำนวนของแบเรียม ซัลเฟตเป็นจำนวนที่เท่ากันในแต่ละเซลล์ ส่วนที่ละลายได้ไม่สามารถนับรวมในความแตกต่างของความจุไฟฟ้าในเซลล์ได้

ข้อสรุปนั้นถูกยืนยันโดยการทดลองอื่นที่ออกแบบมาให้แสดงวงจรถกลางๆ เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคของแบเรียม ซัลเฟต แบเรียม ซัลเฟตดั้งเดิมที่ถูกใช้สำหรับการทดลองเป็นการเตรียมพิเศษจากห้องแล็บที่ซึ่งอนุภาคแต่ละอันถูกแยกแยะโดย potassium permanganate ที่อยู่ในผลึก เนื่องจาก potassium permanganate ละลายได้ในกรดแบตเตอรี่ มันยังคงสามารถอยู่ในแผ่นลบทราบเท่าที่มันถูกจับอยู่ภายในผลึกของแบเรียม ซัลเฟต หากผลึกแบเรียมซัลเฟตละลาย permanganate ถูกปลดปล่อยและ manganese dioxide ได้ถูกฝังในแผ่นบวกโดยทันที



- A -- No expander
 B -- 0.5% Barium Sulfate
 C -- 1.0% Barium Sulfate
 D -- 2.0% Barium Sulfate

ภาพที่ 2.11 แสดง ผลกระทบของความจุของแผ่นลบของความเข้มข้นแบเรียม ซัลเฟตที่แตกต่างกัน โดยปราศจากตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอน

แบเรียม ซัลเฟตพิเศษนี้ถูกเติมได้โดยการเติมสารละลายแบเรียม ไฮดรอกไซด์ไปเป็นสารละลายของโซเดียม ซัลเฟตที่บรรจุจำนวนของ potassium permanganate แบเรียม ซัลเฟตที่ถูกเร่งบรรจุแมงกานีส 22% และค่อนข้างสีม่วงน้ำตาล ส่วนของแมงกานีสถูกจับไว้ในผลึกแบเรียม ซัลเฟต มันไม่สามารถขจัดออกโดยการล้างด้วยน้ำหรือกรดเบตเตอรี

สำหรับการทดสอบแบตเตอรี่มีการเตรียมเซลล์ 2 อัน อันหนึ่งถูกสร้างโดยใช้แบเรียม ซัลเฟต แบบพิเศษ 0.5% พร้อมด้วยตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนอันที่ 2 ถูกสร้างให้เหมือนกัน เว้นเพียงแต่ใช้แบเรียมซัลเฟตแบบธรรมดา กับที่เติม potassium permanganate เล็กน้อยลงในแผ่นโลหะลบ เซลล์เหล่านี้ถูกก่อรูปด้วยเงื่อนไขอย่างที่เคยทำมา จากนั้นให้วงจรทั้ง 5 ของการชาร์จและดิสชาร์จตามด้วยขั้นตอนของแผ่นโลหะลบที่ถูกนำมาวิเคราะห์สำหรับแมงกานีส ผลแสดงไว้ในตารางที่ 2 .2

ตารางที่2.2 ผลกระทบของวงจรที่มีต่อแผ่น โลหะลบที่บรรจุแมงกานีส

<u>Plate Description</u>	<u>% Manganese</u>
Unformed plate	0.00110
Cycled plate with manganese added to negative paste. less than	0.00001
Cycled plate using barium sulfate containing man- ganese	0.00040

ข้อมูลในตารางชี้ให้เห็นว่า potassium permanganate ที่ถูกเติมลงไปแผ่นโลหะลบแมงกานีสถูกกรองออกอย่างรวดเร็วจากแผ่นโลหะลบในระหว่างการก่อรูปและวงจร อย่างไรก็ตาม หากแมงกานีสยังคงติดอยู่ในแผ่นโลหะลบ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า อนุภาคของแบเรียม ซัลเฟตไม่ได้ละลายในกรดแบตเตอรี่มันเป็นความจริงที่ว่า แมงกานีสบางอันถูกละลาย แต่มันอาจเป็นเพียงตัวแทนแมงกานีสบนพื้นผิวของอนุภาคของแบเรียม ซัลเฟต ความจริงที่ว่าจำนวนของแมงกานีสที่หลงเหลืออยู่เป็นข้อพิสูจน์ว่า อนุภาคของแบเรียม ซัลเฟต ไม่ผ่านไปสู่สารละลายในช่วงวงจรของแบตเตอรี่ เมื่อมันไม่ผ่านลงไป ในสารละลาย ความมีประสิทธิภาพของมันจะเกิดเนื่องจากคุณสมบัติบางประการของแบเรียมซัลเฟตแข็ง แม้เมื่อมีตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอน

เหตุผลนี้ชี้ว่า คุณสมบัติทางกายภาพบางประการของแบเรียม ซัลเฟตแข็งนั้นมีส่วนสำหรับผลกระทบที่เป็นประโยชน์ต่อความจุไฟฟ้า ความเป็นไปได้หลายประการนั้นมีเพียง 1 อย่างที่มีเหตุผล ทฤษฎีที่อยู่บนฐานของโครงสร้างผลึกที่เป็นที่รู้จักกันดีระหว่างแบเรียม ซัลเฟตและตัวนำซัลเฟตที่เป็นผลึกในตระกูลเดียวกันคือ Orthorhombic และมีขนาดเซลล์ผลึกที่เท่ากัน มันเป็นสิ่งที่รู้จักกันดีอยู่แล้ว ซึ่งหมายความว่า แบเรียม ซัลเฟตแข็งนั้นเปรียบเสมือนเป็นนิวเคลียสสำหรับการเติบโตของผลึกของตัวนำซัลเฟต

ตารางที่2.3 โครงสร้างผลึกของกลุ่มแบเรียม ซัลเฟต

<u>Compound</u>	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>System</u>
Barium Sulfate	8.898	5.448	7.170	Orthorhombic
Lead Sulfate	8.45	5.38	6.93	Orthorhombic
Strontium Sulfate	8.36	5.36	6.84	Orthorhombic

หรือกล่าวได้ว่า ตัวนำซัลเฟตละลายในระหว่างการดิสชาร์จนั้นมีแนวโน้มที่จะก่อผลึกบนอนุภาคของแบเรียม ซัลเฟต ดังนั้นตัวนำซัลเฟตจะแสดงแนวโน้มการเคลือบอนุภาคตัวนำฟองน้ำน้อยกว่า ที่เห็นได้ชัดคือ พื้นผิวตัวนำโลหะจะถูกปล่อยให้เป็นอิสระสำหรับการดิสชาร์จเพิ่มเติม ความจุไฟฟ้าของการดิสชาร์จจะเพิ่มขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ การยืนยันทฤษฎีนั้นคือ strontium sulfate ซึ่งมีโครงสร้างผลึกเหมือนกับแบเรียม ซัลเฟตนั้นไม่ละลายในกรดแบบเตอริเช่นกัน ไม่ได้มีการค้นพบตัวแทนที่ไม่ละลายที่มีโครงสร้างผลึกเหมือนกัน ตัวแทนอื่นๆที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน แม้ว่ามันไม่สามารถละลายได้ ไม่ได้แสดงคุณลักษณะเดียวกัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า แบเรียม ซัลเฟตได้ทำให้ความจุของแผ่นโลหะลบของตัวสะสมแบบเตอริดีขึ้น เพราะว่ามันได้มีการก่อผลึกสำหรับตัวนำซัลเฟตที่ก่อรูปในระหว่างการดิสชาร์จ ดังนั้น ตัวนำซัลเฟตที่แสดงนั้นได้จากการเคลือบพื้นผิวตัวนำโลหะด้วยปลอกที่นำมาครอบไว้ที่สามารถกันไม่ให้มีการดิสชาร์จอีกได้

2.3.2.3 ผลกระทบของตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอน (Organic Expander)

เมื่อแผ่นโลหะขั้วลบถูกเตรียมด้วย ตะกั่วเหลือง (litharge), น้ำ และกรดซัลฟิวริก จำนวนตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เป็นผลมาจากการที่ความจุไฟฟ้าถูกทำให้ดีขึ้น แม้ว่าจะไม่มีแบเรียม ซัลเฟต เห็นได้จากเส้นโค้ง D ในภาพที่ 2.8 ตามผลที่แสดงในภาพนี้ การดีขึ้นของประจุไฟฟ้าที่ผลิตจากวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของคาร์บอนนั้นคงอยู่ขณะที่ผลกระทบของแบเรียม ซัลเฟตนั้นไม่ยั่งยืน เนื่องจากความแตกต่างในการทำงาน มันจึงสรุปได้ว่าตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนและแบเรียมซัลเฟตไม่มีผลต่อความจุไฟฟ้าโดยกระบวนการเดียวกัน ดังนั้นการทำงานของตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนจากที่แสดงในก่อนหน้านี้นี้เชื่อมโยงกับแบเรียม ซัลเฟต

ขั้นแรกในการพัฒนาเพื่อการอธิบายคือพิจารณาว่าตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนมีผลต่อกระบวนการชาร์จหรือดิสชาร์จ การทดลองถูกทำเช่นเดียวกับที่เคยทำในตอนของแบเรียม ซัลเฟต แผ่นถูกเตรียมโดยปราศจากตัวขยายถูกหมุนรอบ และตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนถูกเร่งให้เกิดเร็วขึ้นในรูเปิดของแผ่นชาร์จ การดิสชาร์จที่ตามมาให้ความจุไฟฟ้าที่ดีขึ้น ข้อมูลแสดงในตารางที่ 4 การทำให้ความจุไฟฟ้าดีขึ้นจะต้องเป็นผลจากผลกระทบของตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนที่มีต่อกระบวนการดิสชาร์จ เพราะว่าตัวขยายถูกแสดงในระหว่างการดิสชาร์จเท่านั้น

ตารางที่ 2.4 ผลกระทบของการเติมตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอน
ในแผ่นโลหะลบก่อนการดิสชาร์จ

Cell	Seconds Discharge at 50 Amperes	
	Before Treatment	After Treatment
Organic Treated	151	325
Organic Treated	111	294
Control	142	132
Control	135	145

ขั้นต่อไปในการพัฒนาทฤษฎีของการทำงานของตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนขึ้นอยู่กับข้อสังเกตเหล่านี้: เมื่อตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนถูกแสดง, “การสิ้นสุดการชาร์จ” ของแรงดันไฟฟ้าถูกพิจารณาว่าสูงกว่าเมื่อไม่มีตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอน เมื่อตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนไม่มี ช่วงสุดท้ายของการดิสชาร์จมีจำนวนประมาณ 2.45 โวลต์ เมื่อตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนถูกนำมาใช้ ช่วงสุดท้ายของการดิสชาร์จมีจำนวนประมาณ 2.65 – 2.80 โวลต์ เป็นที่ทราบกันดีว่าช่วงสุดท้ายของการดิสชาร์จขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาเคมีในระหว่างพื้นผิวของตัวนำฟองน้ำ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า มันบ่งชี้ว่ามีบางอย่างที่พื้นผิวของตัวนำไปถูกเปลี่ยนไป ดังนั้นเมื่อช่วงสุดท้ายของการดิสชาร์จมีจำนวนประมาณ 2.45 โวลต์ถูกเติมและวัดดูดิบเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในช่วงทำการชาร์จ มันจึงเป็นหลักฐานที่ว่าช่วงสุดท้ายของการดิสชาร์จมีจำนวนประมาณ 2.45 โวลต์ได้แนบอยู่กับตัวนำพื้นผิวในบางลักษณะ

การฝากของช่วงสุดท้ายของการดิสชาร์จมีจำนวนประมาณ 2.45 โวลต์บนพื้นผิวของตัวนำนั้นถูกทำไปพร้อมกับการเพิ่มความจุไฟฟ้าในการดิสชาร์จ เมื่อช่วงสุดท้ายของการดิสชาร์จมีจำนวนประมาณ 2.45 โวลต์ไม่ได้ถูกแสดง ความจุไฟฟ้าของการดิสชาร์จถูกจำกัดโดยชั้นของตัวนำซัลเฟตที่สร้างในระหว่างการดิสชาร์จ การเพิ่มความจุไฟฟ้าสามารถเกิดขึ้นเมื่อหากตัวนำซัลเฟตไม่ได้ถูกติดกับพื้นผิวของตัวนำ metallic โดยตรง ตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนป้องกันตัวนำซัลเฟตจากการฝากบนพื้นผิวของตัวนำ metallic ยังมีอีกหลายกรณีเป็นที่ทราบโดยทั่วกัน ที่ซึ่งวัสดุดิบสารประกอบคาร์บอนแนบตัวมันเองกับพื้นผิวเหล็กและดัดแปลงพฤติกรรมทางกายภาพและเคมีของพื้นผิว ตัวอย่างเช่น การใช้ตัวแทนเพิ่มใน electroplating ยังมีอีกหลายกรณีที่ซึ่งวัสดุดิบสารประกอบคาร์บอนจำนวนน้อยมากอาจเกี่ยวข้องกับการกัดกร่อน กรณีอื่น ๆ ที่ถูกสังเกตการณ์ที่ซึ่งวัสดุดิบสารประกอบคาร์บอนจำนวนไม่มากได้เร่งการกัดกร่อน มีสารที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบนั้นมีความสำคัญต่อแรงดันของน้ำมันหล่อลื่นแบบธรรมดา เนื่องจากพวกมันติดแน่นกับพื้นผิวเหล็ก ในคุณสมบัติของแต่ละกรณีของพื้นผิวเหล็กถูกปรับเปลี่ยนโดยวัสดุดิบที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบจำนวนเล็กน้อย การเคลือบผิวของวัสดุดิบที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบอาจจะเป็น 1 หรือ 2 ไมเลกุลที่มีความหนา แต่มันสามารถเปลี่ยนคุณลักษณะของพื้นผิวได้เพียงพอต่อการสร้างผลกระทบที่น่าพึงพอใจ

ผลกระทบที่ซึ่งถูกนำมาพิจารณานั้น เรียกว่าการเพิ่มขึ้นอย่างมากของความจุไฟฟ้าโดยตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนในแบตเตอรี่สำรองนั้นเป็นผลโดยตรงมาจากการทับถมของตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนบนพื้นผิวของตัวนำโลหะ ในมุมมองของการอภิปรายข้างต้นทฤษฎีที่ตามมาดูเป็นไปได้ว่า: แผ่นโลหะลบของที่สะสมแบตเตอรี่ส่วนหนึ่งถูกดูซึมโดยพื้นผิวตัวนำฟองน้ำ เมื่อมันป้องกันตัวนำซัลเฟตแข็งจากการทับถมในระหว่างการดิสชาร์จ พื้นผิวของตัวนำโลหะคือส่วนที่เหลือสำหรับการดิสชาร์จเพิ่ม

2.3.2.4 การทำงานรวมของทั้งแบเรียม ซัลเฟตและวัตถุที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบ ในตัวขยาย

เนื่องจากวัตถุดิบของตัวขยายทั้ง 2 ตัวมีผลต่อความจุไฟฟ้าโดยวิธีที่ต่างกัน พวกมันสามารถถูกสร้างในการเป็นส่วนสนับสนุนซึ่งกันและกันเมื่อพวกมันถูกใช้ด้วยกันในสัดส่วนที่เหมาะสม ความแตกต่างในการทำงานของตัวขยายแต่ละตัวอธิบายได้ว่าเหตุใดส่วนผสมนั้นมีผลกระทบมากกว่าการใช้ตัวขยายตัวเดียว อย่างไรก็ตาม ยังคงมีความเป็นไปได้ที่ส่วนของความจุที่เพิ่มขึ้นนั้นเกิดจากกระบวนการที่ซึ่งไม่ได้ถูกพิจารณา

ท่ามกลางความเป็นไปได้ทั้งหลาย ความสำคัญคือ ส่วนของกิจกรรมของตัวขยายอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงในแผ่นโลหะลบที่ซึ่งเกิดระหว่างกระบวนการชาร์จ ในรายงานชิ้นนี้ ข้อมูลการทดลองได้ถูกแสดงว่าตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนและแบเรียม ซัลเฟต นั้นมีผลกระทบในระหว่างการดิสชาร์จ อย่างเป็นอิสระจากกัน อย่างไรก็ตาม ข้อมูลไม่ได้แสดงว่ากิจกรรมการรวมทั้งหมดนั้นเกิดจากผลกระทบที่มีต่อการดิสชาร์จ

ดังนั้น ได้มีการทดลองซ้ำโดยใช้ทั้งตัวขยายร่วมด้วย แต่ได้สร้างการเปรียบเทียบในระหว่างแผ่นที่บรรจุตัวขยายในระหว่างการก่อดั้วและวงจร และตัวที่บรรจุตัวขยายในระหว่างการดิสชาร์จเท่านั้น ข้อมูลแสดงในตารางที่ 5 เซลล์แรกถูกเตรียมโดยใช้ตัวขยายในแผ่นโลหะลบ แผ่นโลหะลบของเซลล์ที่ 2 และ 3 ถูกเตรียมโดยใช้ litharge, กรด และน้ำ ยกเว้นตัวขยาย ความจุไฟฟ้าถูกวัดภายหลัง 5 วงจรของของการชาร์จและดิสชาร์จ ผลที่พิสูจน์ได้เป็นประเภทของของความแตกต่างที่ค่อนข้างมากในความจุไฟฟ้าที่ซึ่งเป็นผลมาจากการมีอยู่ของตัวขยาย ภายหลังการดิสชาร์จ เซลล์ถูกชาร์จเต็มและตัวขยายถูกรวมเข้าในรูของแผ่นโลหะลบของหนึ่งในเซลล์ที่ไม่ได้บรรจุตัวขยายก่อนหน้านี้ มันถูกทำโดยการล้างกรดแบตเตอรี่ออก รินด้วยแผ่นในสารละลายแบเรียม ไฮดรอกไซด์ และรินด้วยแผ่นในกรดแบตเตอรี่เพื่อเร่งแบเรียม ซัลเฟต ความเข้มข้นถูกเลือกดังนั้นแผ่นบรรจุด้วยแบเรียม ซัลเฟตประมาณ 0.5 % ขึ้นต่อไป กรดถูกล้างออกจากแผ่นอีกครั้ง และแผ่นโลหะถูกแช่ในสารละลายของตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอน จากนั้นแผ่นโลหะถูกแช่ในกรดแบตเตอรี่ เพื่อเร่งตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอน เซลล์ถูกนำมาประกอบอีกครั้งและให้การดิสชาร์จโดยปราศจากการรบกวนในระหว่างการชาร์จ ความจุไฟฟ้าบนการดิสชาร์จในทางปฏิบัตินั้นเป็นเช่นเดียวกับความจุไฟฟ้าในเซลล์ควบคุมอันแรกที่ซึ่งตัวขยายได้แสดงในระหว่างกระบวนการวาง, การก่อดั้ว และวงจร ในทางปฏิบัติกิจกรรมตัวขยายทั้งหมดตามที่ได้ทดสอบนั้นเกิดจากผลกระทบของตัวขยายในระหว่างการดิสชาร์จ ดังนั้นการทำงานของตัวขยายในระหว่างกระบวนการชาร์จไม่ได้ให้ความจุไฟฟ้าเพียงแต่ทำให้กระบวนการดิสชาร์จเท่านั้น

ตารางที่ 2.5 ผลกระทบของตัวขยายทั้งคู่ที่มีต่อความจุของการดิสชาร์จของแผ่นโลหะลบ

Cell	Seconds Discharge at 50 Amperes	
	Before Treatment	After Treatment
Control, expanders always present	390	378
Expanders added before discharge	178	363
Control, no expanders at any time	140	118

ปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ระหว่างตัวขยาย 2 ตัวในระหว่างการดิสชาร์จเป็นเพียงสมมติฐานที่ว่า ตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนมีผลกระทบบางอย่างต่อแบเรียม ซัลเฟต ในการรักษาให้มันกระจายตัวต่อไป ผลกระทบสามารถเกิดขึ้นเพียงแค่ว่าหากวัสดุขั้วลบสารประกอบคาร์บอนที่แนบกับตัวมันเองบนพื้นผิวของผลึกของแบเรียม ซัลเฟต ตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนอาจจะมีผลกระทบที่คล้ายกันบนตัวนำซัลเฟตอีกด้วย แต่ไม่สามารถยืนยันความเป็นไปได้การทดลองถูกออกแบบให้เปิดเผยให้เห็นไม่ว่าจะเกิดปฏิกิริยาหรือไม่ก็ตามนั้นเป็นตัวเร่งทางเคมี ได้มีการเตรียมกรดแบตเตอรี่ 2 ชุด อันหนึ่งมีการละลายตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอน ขณะที่อีกอันหนึ่งไม่มี ตัวนำสารละลายอะซีเตตถูกเติมในชุดของกรดเหล่านี้ คนอย่างต่อเนื่อง และเร่งเพื่อให้เสร็จ การมีอยู่ของตัวขยายที่เป็นสารประกอบคาร์บอนไม่ได้มีผลกระทบต่ออัตราการสำเร็จและมันไม่มีผลต่อขนาดของการเร่งหรือระดับความเข้มข้นของการรวมตัวกัน การทดลองถูกทำซ้ำโดยใช้แบเรียม ไฮดรอกไซด์ในการเร่งแบเรียม ซัลเฟต หากมันไม่แนบกับตัวมันเองลงบนพื้นผิวได้เงื่อนไขของการทดสอบนี้ ดูเหมือนว่ามันจะมีผลกระทบเหมือนกันในระหว่างการดิสชาร์จ ดังนั้นสมมติฐานอีกแบบของการทำงานของตัวขยายนี้จะไม่ยั่งยืน

การมีอยู่ของตัวขยายในแผ่นโลหะลบมีผลในความแตกต่างมากมายซึ่งไม่ได้ถูกนำมาอภิปราย ตัวอย่างเช่น เป็นที่ทราบกันดีว่าวงจรมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของแผ่นโลหะลบ และตัวขยายมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลง ความแตกต่างของระบบได้ถูกสังเกตในโครงสร้างของแผ่นที่ก่อรูปขึ้นใหม่ และได้มีการบันทึกความแตกต่างหลายอย่างในเรื่องของขนาดอนุภาคของตัวนำซัลเฟตที่ก่อรูปในระหว่างการดิสชาร์จ ยังมีข้อสังเกตในเรื่องความแตกต่างของความพรุนเป็นรูของแผ่นโลหะลบ ความแตกต่างแต่ละอย่างนี้เป็นผลของการมีอยู่ของตัวขยาย แต่ในมุมมองของงานทดลองพวกมันเป็นผลกระทบขั้นที่สอง พวกมันปรากฏเมื่อตัวขยายถูกเติมลงในแผ่นโลหะลบและอาจจะทนต่อความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนการผลิตโดยวงจร แต่พวกมันไม่ได้เป็นเหตุผลทันทีและโดยตรงที่ว่าตัวขยายทำให้ความจุไฟฟ้าดีขึ้น ดังนั้นพวกมันอยู่นอกเหนือขอบเขตของงานวิจัยครั้งนี้ แต่อาจจะมีการศึกษาในอนาคต ผลโดยตรงของตัวขยายคือกลไกที่พวกมันปรับปรุงความจุไฟฟ้าให้ดีขึ้น ดังนี้:

ในระหว่างการดิสชาร์จที่อัตราสูงในการไม่มีตัวขยาย ตัวนำซัลเฟตถูกยึดไว้ที่แผ่นฟิล์มที่ซึ่งเคลือบผิวของชั้นฟองน้ำและทำไม่ให้เกิดการดิสชาร์จอีก ตัวขยายทำให้ความจุไฟฟ้าดีขึ้นเพราะว่ามันป้องกันการ

ก่อรูปของแผ่นฟิล์ม องค์ประกอบที่มีสารประกอบคาร์บอนของตัวขยาย ที่แนบตัวมันเองกับพื้นผิวของตัวนำแทรกแซงด้วยการยึดของตัวนำซัลเฟต แบเรียมซัลเฟตในตัวขยายจัดหาพื้นผิวที่ซึ่งตัวนำซัลเฟตสามารถยึดไว้ได้ แทนที่จะเป็นการยึดบนตัวนำโลหะ ผลกระทบเหล่านี้ขององค์ประกอบทั้ง 2 ของตัวขยายรักษาพื้นผิวของตัวนำโลหะให้ว่างต่อการดิสชาร์จเพิ่มและปรับปรุงความจุไฟฟ้าให้ดีขึ้น

2.4 โวลแทมเมตรี (Voltammetry)

โวลแทมเมตรี (Voltammetry) เป็นชื่อรวมของกลุ่มวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า ที่ข้อมูลของการวิเคราะห์ที่ได้จากความสัมพันธ์ของการเกิดกระแส กับการให้พลังงานศักย์แก่วงจร ภายใต้สภาวะการทดลองที่เกิดกระบวนการนอนฟาราเดอิก หรือเกิดโพลาริเซชันขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าใช้งาน โดยทำให้ขั้วไฟฟ้าใช้งานมีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวน้อย (เพียงไม่กี่ตารางเมตร) ทำให้การเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารตัวอย่างจำเป็นต้องอาศัยพลังงานศักย์จากภายนอก ด้วยขนาดที่เล็กของขั้วไฟฟ้าใช้งานจึงเรียกขั้วไฟฟ้าใช้งานในเทคนิคโวลแทมเมตรีว่า “ ขั้วไฟฟ้าจุลภาค (microelectrode)”

โวลแทมเมตรีมีความแตกต่างจากวิธีโพเทนชิอเมตรี โดยสิ้นเชิง กล่าวคือ การทำโวลแทมเมตรีเป็นการให้พลังงานไฟฟ้าในรูปศักย์แก่วงจร เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีของสารตัวอย่าง ดังนั้น การจัดเซลล์ของวงจรเป็นแบบอเล็กโทรไลต์ และการไหลของกระแสอยู่ภายใต้สภาวะการเกิดโพลาริเซชันเนื่องจากความเข้มข้น ที่ขั้วไฟฟ้าจุลภาค

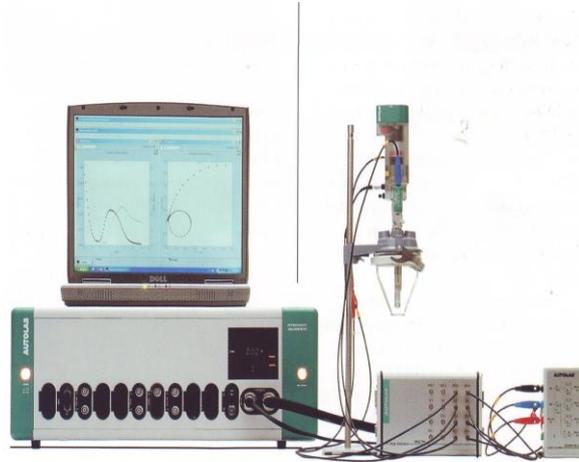
เทคนิควิธีวิเคราะห์โวลแทมเมตรี

ลักษณะสำคัญของการวิเคราะห์ด้วยหลักการโวลแทมเมตรี คือต้องจัดเซลล์แบบอเล็กโทรไลต์ ขั้วไฟฟ้าใช้งานต้องเป็นขั้วไฟฟ้าจุลภาค และต้องมีการบันทึกกระแสตามศักย์ที่ให้กับวงจรหรือขั้วไฟฟ้า ดังได้กล่าวแล้วว่า พัฒนาการของเทคนิคการวิเคราะห์จากโพลาริกราฟีซึ่งเป็นแบบคลาสสิก เกิดจากการพัฒนาดัดแปลงวิธีการในการบันทึกศักย์และกระแสที่ต่างๆ กันไป ถ้าถือว่าศักย์ที่ให้กับวงจรในช่วงระยะเวลาหนึ่งเป็นเสมือนสัญญาณกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมี และเกิดการไหลของกระแส สัญญาณกระตุ้นที่แตกต่างกันไป ย่อมทำให้เกิดการตอบสนองของกระแสที่ต่างกัน เกิดเป็นเทคนิควิธีการวิเคราะห์แบบต่างๆ ขึ้น

อุปกรณ์และเครื่องมือการทำโวลแทมเมตรี

การวิเคราะห์ด้วยหลักการโวลแทมเมตรี ไม่ว่าจะเป็นเทคนิควิธีการวิเคราะห์แบบใด ย่อมประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนของเซลล์เคมีไฟฟ้า และส่วนของเครื่องมือในการควบคุมสัญญาณไฟฟ้า เซลล์เคมีไฟฟ้าในการทำโวลแทมเมตรี มักเรียกเป็น เซลล์โวลแทมเมตรี เพราะมีความแตกต่างไปจากเซลล์เคมีไฟฟ้าธรรมดาอยู่บ้าง สำหรับเครื่องมือในการควบคุมสัญญาณไฟฟ้า มักประกอบด้วยอุปกรณ์ในการควบคุมศักย์ที่ให้แก่ขั้วไฟฟ้า เรียกโพเทนชิออสแตท (potentiostat) และอุปกรณ์ในการอ่านค่ากระแสของวงจร อาจเรียกส่วนของการควบคุมสัญญาณไฟฟ้านี้ว่า โวลแทมเมตริก

อะนาไลเซอร์ (voltammetric analyzer) ในเครื่องมือของการทำโวลแทมเมตรีที่ใช้ในงานวิเคราะห์ต่างๆ ยังมักประกอบด้วยอุปกรณ์บันทึกแปลงผลข้อมูล และอาจสร้างเส้นกราฟได้ด้วย



ภาพที่ 2.12 แสดงเครื่องที่ใช้ในการทดสอบ Cyclic Voltammetry

เซลล์โวลแทมเมตรี

เซลล์โวลแทมเมตรี มักใช้เรียกเซลล์เคมีไฟฟ้าในกลุ่มการวิเคราะห์โวลแทมเมตรี ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้า และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ที่แตกต่างไปจากการทำโพเทนชิโอเมตรี ตรงที่ว่าขั้วไฟฟ้าในการทำโวลแทมเมตรี มักประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ขั้วไฟฟ้าใช้งานและขั้วไฟฟ้าช่วยหรือขั้วไฟฟ้าวร่วม จุ่มอยู่ในสารละลายที่มีสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์และสารอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยามักเรียกเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ช่วย หรือเกลือหนุน (supporting electrolyte) โดยสารอิเล็กโทรไลต์ช่วยมักใช้ในปริมาณที่มากเกินไป

ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง

ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ต้องมีค่าศักย์ไฟฟ้าคงที่ตลอดการทดลอง และควบคุมค่าศักย์ของขั้วไฟฟ้าใช้งานด้วย แม้ขั้วไฟฟ้าคาโลเมล จะเคยถูกจัดเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่ใช้ได้ทั่วไป แต่ด้วยเหตุผลด้านความเป็นพิษ และผลต่อมลพิษของปรอท ทำให้ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์ เป็นที่ยอมรับในการเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิงแทน

ขั้วไฟฟ้าวร่วม หรือขั้วไฟฟ้าช่วย

จัดเป็นขั้วไฟฟ้าที่สามของวงจรโวลแทมเมตรีที่มีคุณลักษณะเฉพาะ คือ ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เป็นขั้วที่รับพลังงานไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ส่งต่อผ่านสารละลายไปยังขั้วไฟฟ้าใช้งาน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีของสารตัวอย่างที่ขั้วไฟฟ้าจุ่มอยู่โดยขั้วไฟฟ้าวร่วมนี้ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้น ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาของสารตัวอย่างระหว่างการวิเคราะห์

ขั้วไฟฟ้าใช้งาน

ในกลุ่มการวิเคราะห์โวลแทมเมตรี ขั้วไฟฟ้าใช้งานจะแตกต่างจากการวิเคราะห์อื่นๆ ที่ว่าขนาดของขั้วไฟฟ้าต้องเล็ก ซึ่งมักเรียกเป็นขั้วไฟฟ้าจุลภาค ทั้งนี้ เพื่อให้พื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้าในการสัมผัสกับสารตัวอย่างมีน้อย เกิดสภาวะของโพลาริเซชันตลอดการวิเคราะห์

การเลือกใช้ขั้วไฟฟ้าจุลภาค

ขั้วไฟฟ้าใช้งานในกลุ่มการวิเคราะห์โวลแทมเมตรี ซึ่งเป็นขั้วไฟฟ้าจุลภาคมักนิยมใช้ขั้วไฟฟ้าจุลภาคจากแพลทินัม (Pt) หรือ คาร์บอน (C) หรือปรอท (Hg) ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างเมื่อต่อขั้วไฟฟ้าเหล่านี้เข้ากับวงจรของเซลล์เคมีไฟฟ้า จะให้ช่วงของศักย์ที่สัมพันธ์กับกระแสได้ไม่เหมือนกัน ดังนั้น ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างจึงจำเป็นต้องเลือกใช้ขั้วไฟฟ้าจุลภาคให้เหมาะสมด้วย โดยสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ต้องสามารถเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ในช่วงศักย์ของขั้วไฟฟ้าที่เลือกใช้นั้น จึงจะวิเคราะห์สารนั้นได้

อิเล็กโทรไลต์เกือหนูน

คือสารประกอบอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้เติมลงไปในการละลายตัวอย่างในการวิเคราะห์ทางโวลแทมเมตรี โดยเติมในปริมาณที่มากกว่าสารตัวอย่างประมาณ 50 – 100 เท่า ทั้งนี้ สารอิเล็กโทรไลต์เกือหนูนนี้ต้องไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาของสารตัวอย่าง แต่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการทำให้ไอออนของสารตัวอย่างมีการเคลื่อนที่ในสารละลายแบบการแพร่ ไม่ใช่แบบไมเกรชันและยังช่วยลดผลของความต้านทานของเซลล์ด้วย นอกจากนี้การเลือกชนิดของอิเล็กโทรไลต์เกือหนูนที่เหมาะสม ยังช่วยทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ หรือช่วยขจัดโลหะแทรกซ้อนที่ปนมาในสารตัวอย่าง โดยการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนด้วย สารประกอบอิเล็กโทรไลต์ทั่วไปที่มีคุณสมบัติเป็นกรดแก่ (เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก) ต่างแก่ (เช่น โซเดียม หรือ ลิเทียม ไฮดรอกไซด์) หรือ เกลือ (เช่น คลอไรด์เปอร์คลอเรท หรือซัลเฟตของโลหะอัลคาไล หรือไอออนเตตราอัลคิลแอมโมเนียม) หรือสารก่อสารเชิงซ้อน (เช่น ทาร์เทรต , ซิเตรต , ไชยาไนต์ , ฟลูออไรด์ หรือเอมีน รวมทั้งแอมโมเนีย และ EDTA) ล้วนแต่นำมาใช้เป็นอิเล็กโทรไลต์เกือหนูนได้ทั้งสิ้น

โวลแทมเมตรี อะนาไลเซอร์

โวลแทมเมตรี อะนาไลเซอร์ เป็นส่วนของเครื่องมือการวิเคราะห์ทางโวลแทมเมตรี ที่ต่อเข้ากับเซลล์โวลแทมเมตรี เดิมทีมีเพียงการทำโพลาริกราฟีเครื่องมือนี้ถูกเรียกเป็นโพลาริกราฟซึ่งอาจเขียนแทนเป็นวงจรไฟฟ้าง่ายๆ ที่มีการควบคุมค่าศักย์ขั้วไฟฟ้าด้วยการปรับเลื่อนเข็มไปบนหลอดความต้านทานของวงจรที่มีขั้วไฟฟ้า 2 หรือ 3 ขั้ว ต่อเชื่อมอยู่ ปัจจุบันโวลแทมเมตรี อะนาไลเซอร์ มีวิวัฒนาการที่แตกต่างไปจากเดิมมาก โดยมีการนำเอาโอเปอร์เรชันแนล แอมป์ไฟเออร์ (Op amp) มาใช้ในการควบคุมค่าศักย์ขั้วไฟฟ้า เช่นเดียวกับในเครื่องโพเทนชิออสแตตอร์ เพียงแต่ในวงจรการทำโวลแทมเมตรีต้องใช้ Op amp ถึง 3 วงจรต่อเชื่อมกันและใช้ขั้วไฟฟ้า 3 ขั้ว

โวลแทมโมแกรม (Voltammogram)

ในเทคนิควิธีการวิเคราะห์หีโตๆ ในโวลแทมเมตรี เส้นกราฟที่ได้จากการพลอตระหว่างกระแสที่วัดได้กับศักย์ที่ให้กับขั้วไฟฟ้าจุลภาค เรียกว่า โวลแทมโมแกรม ยกเว้นสำหรับวิธีโพลารोगราฟีย์ ที่เรียกเป็นโพลารोगแกรม โวลแทมโมแกรมที่ได้จากสัณญาณกระตุ้นที่ต่างกันจะไม่เหมือนกัน

2.5 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yamada และคณะ (2005) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การหาค่าการกระจายตัวศักย์ไฟฟ้าของแผ่นรองรับโดยการใช้อิเล็กโทรดช่วยออกแบบของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดกำลังไฟสูง จากการศึกษาแผ่นรองรับ 3 แบบ ซึ่งใช้ในการเปรียบเทียบดังต่อไปนี้ แผ่นรองรับแบบเดิม แผ่นรองรับแบบมีดิ่งและแผ่นรองรับแบบรัศมีที่มีดิ่งพบว่า แผ่นรองรับแบบมีดิ่งและแผ่นรองรับแบบรัศมีที่มีดิ่งนั้น มีประสิทธิภาพในการลดความต้านทานไฟฟ้า

Hilger (1994) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษากระบวนการผลิตแผ่นรองรับของแบตเตอรี่ โดยโลหะผสมตะกั่ว พลวงและดีบุกซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรง งานวิจัยนี้ต้องการศึกษา รูปแบบของการตกตะกอนและระดับของการแข็งตัว โดยใช้โลหะผสมพลวง 0 -2.5 % และดีบุก 0 -2.5% โดยน้ำหนัก พบว่า โลหะผสมตะกั่ว พลวงและดีบุกสามารถตกตะกอนด้วยกันได้นั้น ต้องมีส่วนโลหะผสม พลวง 1% และดีบุก 1% โดยน้ำหนักจะส่งผลต่อความแข็งแรงที่ดีที่สุด

Lam และคณะ (1994) ได้ทำการวิจัยเรื่อง อิทธิพลของธาตุบิสมีตต่อความแข็งแรงและคุณลักษณะการกัดกร่อนของโลหะผสมพลวงต่ำในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลกระทบของการเพิ่มธาตุบิสมีต พฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ โดยการเพิ่มธาตุบิสมีตในช่วงระหว่าง 0.006 – 0.086 % โดยน้ำหนัก พบว่า ไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรง ไม่ส่งผลต่อการคายประจุไฟฟ้า และส่งผลต่อการยับยั้งการกัดกร่อนของแผ่นรองรับ

Prengaman (2006) ได้ทำการวิจัยเรื่อง โลหะผสมปริมาณพลวงต่ำสำหรับเหล็กคาร์บอนและรอบของการใช้งานของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด งานวิจัยนี้ต้องการศึกษา โลหะผสมที่มีปริมาณพลวงต่ำ โลหะผสมที่มีปริมาณดีบุกสูงโดยที่โลหะผสมมีปริมาณพลวง 3.50 % และดีบุก 1.06% โดยน้ำหนัก พบว่า ลดอัตราการกัดกร่อน เพิ่มพันธะในการจับยึด เพิ่มรอบในการใช้งาน ลดอัตราการปล่อยแก๊สที่ต่ำลง และเพิ่มอายุการใช้งาน

Prengaman (1996) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การปรับปรุงวัสดุของแผ่นรองรับในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด งานวิจัยนี้ต้องการศึกษา โลหะผสมพลวง สมบัติกลไกในการทำงานซึ่งมีโลหะผสมพลวง 6 -10 % โดยน้ำหนัก พบว่า อายุในการใช้งานยาวนาน สมบัติทางกลง่ายในการทำงานและมีความสัมพันธ์ในการประจุไฟฟ้ากับเวลา

D.Marin และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแผ่ขยายในแผ่นธาตุลบต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดงานวิจัยนี้ต้องการศึกษา สร้างสูตรในการผลิตตัวแผ่ขยายในแผ่นธาตุลบ คัดเลือกตัวแผ่ขยายที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยพิจารณาค่าทางเคมีไฟฟ้าของตัวแผ่ขยายต่างๆ จากทั้งหมด 19 ชนิด คัดเลือกสารประกอบคาร์บอนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด 7 ชนิด เพื่อทำการทดสอบ พบว่า ประสิทธิภาพในแต่ละสูตรที่มีอัตราส่วนผสมแตกต่างกันให้ความแตกต่างกันประมาณ 10 – 13 % อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบคาร์บอน (Organic expander)

Tim McNally และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลจากการเพิ่มสารประกอบคาร์บอนในแผ่นธาตุลบของแบตเตอรี่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิและประสิทธิภาพที่สูงขึ้นงานวิจัยนี้ต้องการศึกษา สารประกอบคาร์บอนที่เพิ่มในแผ่นธาตุลบ สมบัติของสารประกอบคาร์บอน โดยการปรับสารประกอบคาร์บอน (Organic expander) ประเภท Vanisperse A จาก 0.25 % เป็น 0.5 % โดยน้ำหนัก พบว่า การยืดอายุการใช้งานของแผ่นธาตุลบโดยการเพิ่มสารประกอบคาร์บอน(Organic expander) ประเภท Vanisperse A การเพิ่มสารประกอบคาร์บอน (Organic expander) ประเภท Vanisperse A ทำให้เพิ่มความจุพลังงาน

D.P. Boden (1998) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ การเลือกตัวแผ่ขยายที่ผสมแล้วเหมาะสมที่สุดในการใช้งานแบตเตอรี่ตะกั่วกรดงานวิจัยนี้ต้องการศึกษา ความสำคัญของตัวแผ่ขยายในแผ่นธาตุลบ การเลือกใช้สารประกอบคาร์บอน (Organic expander) องค์ประกอบของตัวแผ่ขยายประกอบด้วย Barium sulfate Organic expander และ Carbon black พบว่า Expander มีความสำคัญอย่างมากในการผลิตแบตเตอรี่ Lead/ acid battery โดยจะต้องเลือกใช้ Lignosulfonate ให้ถูกต้อง ส่วนผสมของ Expander ที่ถูกต้องของ Lignosulfonate Barium sulfate and Carbon black มีความสำคัญอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการใช้งานของแบตเตอรี่และส่งผลต่ออายุการใช้งาน

