



ลิเทียม-ซัลเฟอร์: แบตเตอรี่ชนิดใหม่แห่งอนาคต

Li-S Battery: A New Kind of Rechargeable Battery for the Future

ธันยาภรณ์ ฮอมณี¹ และ นางลักษณ์ มีทอง^{2,3*}

บทคัดย่อ

แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ (rechargeable battery) เป็นอุปกรณ์กักเก็บพลังงานไฟฟ้าที่มีความสำคัญอย่างยิ่งยวดต่ออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ และยานยนต์ไฟฟ้า รวมถึงเป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำให้การใช้งานพลังงานจากลมและแสงอาทิตย์ได้เต็มประสิทธิภาพ แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์เป็นหนึ่งในตัวเลือกแห่งอนาคตของแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบันแล้ว แบตเตอรี่ชนิดใหม่นี้มีข้อดีหลายประการ เช่น มีความสามารถในการกักเก็บพลังงานสูงกว่า สามารถใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง มีราคาถูกกว่า มีความปลอดภัยและมีความเป็นพิษต่ำ อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ชนิดใหม่นี้มีข้อเสีย คือ มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ส่งผลต่อความเสถียรของโครงสร้าง ทำให้เกิดการลดลงของความจุไฟฟ้าอย่างรวดเร็วและมีรอบการใช้งานที่สั้น เทคโนโลยีนาโนได้เข้ามามีบทบาทและถูกใช้ในการแก้ปัญหาเหล่านี้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกักเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ชนิดใหม่นี้ดีขึ้น ทำให้ความหวังที่จะนำแบตเตอรี่ชนิดนี้ไปใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าและพลังงานหมุนเวียนอย่างเต็มประสิทธิภาพจะเป็นจริงได้ในไม่ช้า

¹ หลักสูตรวัสดุศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

² ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

³ ศูนย์วิจัยนาโนเทคโนโลยีบูรณาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

*Corresponding Author; E-mail: nonmee@kku.ac.th

ABSTRACT

Rechargeable batteries are energy storage devices that are critical to portable electronic industries such as cell phones, computers, and electric vehicles. It is also the key enabling technology for renewable energy. Lithium-Sulfur is one of the future chemistry options of rechargeable batteries. Compared with lithium-ion batteries currently in use in many applications, this new battery chemistry has many advantages such as the ability to store higher energy, wider working temperature range, cheaper, safer and has lower toxicity. However, the downside is that there are chemical changes that affect the stability of the structure causing a rapid decrease in capacity (i.e. high capacity fading) and shorten its cycle life. Nanotechnology plays a crucial role in solving these problems. As a result, the performance of this new type of battery has been significantly improved. This new battery has the potential to foster widespread use of electric vehicles and renewable energy in a near future.

คำสำคัญ: แบตเตอรี่ชนิดใหม่ ลิเทียมไอออน ลิเทียม-ซัลเฟอร์ พลังงานทดแทน

Keywords: Rechargeable battery, Li-ion, Li-S battery, renewable energy

1. บทนำ

ท่ามกลางวิกฤตการณ์ทางพลังงานทั่วโลก เราไม่สามารถปฏิเสธได้ว่าแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ (Rechargeable Battery) เป็นอุปกรณ์เก็บพลังงานไฟฟ้าที่ถือเป็นตัวแปรสำคัญในการช่วยทำให้ช่องว่างระหว่างความต้องการการใช้พลังงานและความสามารถในการผลิตพลังงานลดลง โดยเฉพาะการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สะอาด เช่น พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและรูปแบบการใช้งานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา เช่น กล้องถ่ายรูปแบบดิจิทัล โทรศัพท์มือถือ และคอมพิวเตอร์แบบพกพา แบตเตอรี่ประเภทนี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยผ่านการอัดประจุใหม่ (rechargeable) ซึ่งจะสามารถแบ่งแยกย่อยได้อีกตามลักษณะทางเคมี เช่น แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Li-ion battery) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead acid battery)

แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม (Nickel Cadmium battery) และ แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์ (Nickel-Metal hydride (NiMH) battery) เป็นต้น (Buchmann, n.d.) และในบรรดาแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้นี้ กลุ่มแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน ถือเป็นชนิดที่ได้รับความนิยมอย่างสูง เพราะมีความสามารถในการเก็บพลังงานไฟฟ้าได้สูงทั้งเชิงมวลและปริมาตร ส่งผลให้สามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และใช้ได้ยาวนานโดยไม่ต้องประจุไฟใหม่บ่อยครั้ง รวมทั้งมีศักย์ไฟฟ้าที่สูง และมีอัตราการลดลงของประจุ (self-discharge) ที่ต่ำเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ชนิดอื่นที่ขายตามท้องตลาดประเภทอื่น (Linden and Reddy, 2002)

อย่างไรก็ตาม จากความต้องการแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่สำหรับอุตสาหกรรมรถยนต์ไฟฟ้า และสำหรับกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานงาน

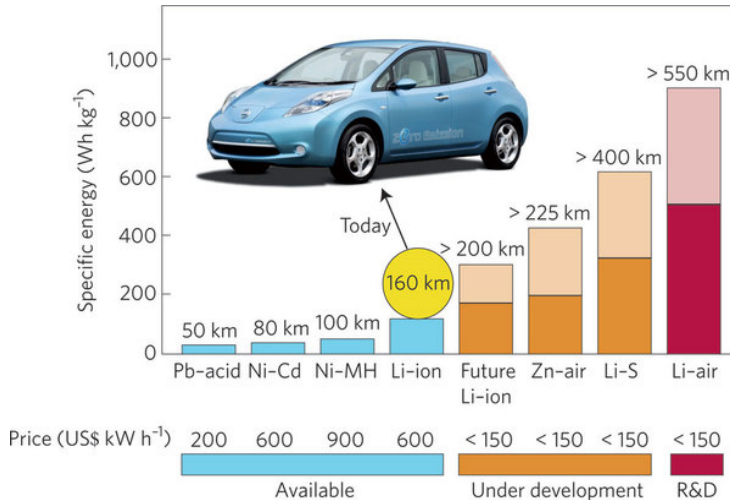
สะอาด แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน ยังถือเป็น แบตเตอรี่ที่มีราคาสูงเกินไป สำหรับบทความฉบับนี้ จะกล่าวถึงเทคโนโลยีแบตเตอรี่ชนิดใหม่ คือ แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ (Li-S Battery) ที่อาจจะเข้ามาแทนที่เทคโนโลยีแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนในไม่ช้า เนื่องจากมีลักษณะเด่นหลายประการ เช่น มีความสามารถในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในทางทฤษฎีสูงกว่าแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนถึง 4 เท่า มีราคาถูกกว่า และสามารถผลิตให้มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา กว่า จึงไม่สิ้นเปลืองพื้นที่ในการจัดเก็บและใช้งาน เป็นต้น นอกจากนี้ จะกล่าวถึงหลักการทํางานและ ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ ความท้าทายหรือปัญหาของเทคโนโลยีใหม่นี้ แนวทางแก้ไข และบทบาทของนาโนเทคโนโลยีกับการพัฒนาวัสดุ สำหรับทำขั้วไฟฟ้าเพื่อทำให้แบตเตอรี่ชนิดใหม่นี้มีประสิทธิรูปที่ดียิ่งขึ้นด้วย

2. ลักษณะเด่นของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์

สำหรับแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาและศึกษาให้ประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นโดยมีการใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นพลังงาน (energy density) ที่สูง มีอายุการใช้งานยาวนาน มีความปลอดภัยสูง และราคาถูก โดยแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ ถึงแม้จะยังเป็นเทคโนโลยีที่กำลังอยู่ในขั้นทดสอบและพัฒนาในห้องปฏิบัติการ แต่ก็ได้รับความสนใจในการศึกษาและพัฒนาต่อยอดให้เชิงพาณิชย์

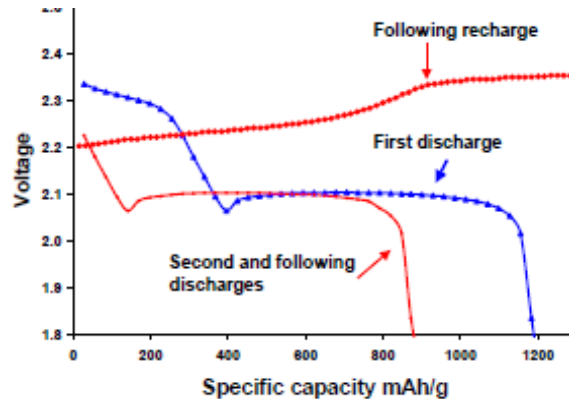
อย่างจริงจังและต่อเนื่อง เนื่องจากมีค่าความหนาแน่นจำเพาะในทางทฤษฎี (theoretical specific energy density) สูงถึง 2500 วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม (Wh/kg) หรือราว 2800 วัตต์-ชั่วโมงต่อลิตร (Wh/l) และราคาถูก (Zhang et al., 2011) ดังนั้นจึงมีกลุ่มนักวิจัยที่พยายามพัฒนาระบบ แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ เพื่อนำเอาไปประยุกต์ใช้ในเทคโนโลยีโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart grid) และ อุตสาหกรรมยานยนต์ เช่น ใช้เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานในรถยนต์ไฟฟ้า (electric vehicles) รวมถึงเพื่อรองรับการใช้งานสำหรับกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน (Yang et al., 2013) รูปที่ 1 เปรียบเทียบค่าความจุพลังงานจำเพาะทางทฤษฎีของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์กับแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟใหม่ได้ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ในปัจจุบันประเภทอื่นๆ

เราจะเห็นว่า แม้เปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน ที่ถือเป็นเทคโนโลยีที่มีความจุพลังงานจำเพาะสูงมากแล้ว แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ ยังมีความจุพลังงานจำเพาะที่สูงกว่าหลายเท่าตัว และมีค่าความหนาแน่นพลังงานเชิงมวลสูงกว่าราว 3-4 เท่า อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ ถึงแม้จะมีประสิทธิภาพในการกักเก็บพลังงานที่สูง แต่ยังมีปัญหาที่สำคัญที่ต้องได้รับการแก้ไข คือ มีการลดลงของความจุไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว (high capacity fading) ดังแสดงด้วยรูปที่ 2 และ มีรอบการใช้งานที่สั้น (poor cycle life) เป็นต้น (Zhang et al., 2011)



รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบ Specific energy ของแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟใหม่ได้ประเภทต่าง ๆ กับ แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ โดยในภาพยังแสดงให้เห็นว่า หากนำแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ซึ่งยังอยู่ในขั้นพัฒนาไปใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า จะสามารถขับได้ไกลกว่าใช้ลิเทียม-ไอออน 2-3 เท่า และราคาถูกกว่าราว 4 เท่า

อ้างอิงจาก: <http://insideevs.com/researchers-discover-way-to-increase-life-expectancy-of-energy-dense-lithium-sulfur-batteries-by-70>



รูปที่ 2 แสดงการเกิด capacity fading ของ แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ ที่ขั้วแคโทดเป็น S/carbon และ ขั้วแอโนดเป็นโลหะลิเทียม จะเห็นว่ากระบวนการ discharge รอบแรกจะให้ Specific capacity ประมาณ 1,200 มิลลิแอมแปร์-ชั่วโมงต่อกรัม (mAh/g) แต่เมื่อ discharge รอบที่สอง Specific capacity ลดลงเหลือประมาณ 900 mAh/g

อ้างอิงจาก: <http://sionpower.com/pdf/articles/SionPowerECS.pdf>

3. ส่วนประกอบและหลักการทำงานของ แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์

3.1 ส่วนประกอบ

แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีส่วนประกอบหลัก ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วน คล้ายกับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Yang et al., 2012) และ แบตเตอรี่ชนิดโซเดียมไอออน (Meethong, 2011) คือ

ขั้วไฟฟ้า ประกอบด้วย ขั้วแคโทด (cathode) โดยปกติแล้วจะใช้เป็น C/S Composite โดยคาร์บอนจะช่วยให้การนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น และขั้วแอโนด (anode) ใช้โลหะลิเทียม (Li metal)

แผ่นกั้นในแบตเตอรี่ (separator) เป็นส่วนที่ป้องกันไม่ให้ขั้วแคโทดสัมผัสกับขั้วแอโนดจนเกิดการลัดวงจรของกระแส

อิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ทำหน้าที่นำที่ยอมให้อิออนไหลผ่านแผ่นกั้นแบตเตอรี่แต่จะไม่ยอมให้อิเล็กตรอนไหลผ่านจึงเป็นตัวนำไอออนิก (นำไอออน) ที่ดี แต่เป็นตัวนำอิเล็กตรอนิกส์ (ตัวนำอิเล็กตรอน) ที่เลว **ตัวรับกระแส** (current collector) หรือ โลหะตัวนำที่ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนไหลผ่านออกสู่วงจรภายนอก และเกิดการนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้

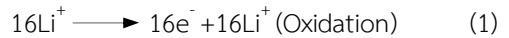
3.2 หลักการทำงาน

รูปที่ 3 แสดงหลักการทำงานของ แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ ซึ่งจะใช้หลักการทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical reaction) โดยเราจะแบ่งเป็น 2 กระบวนการ คือ การคายประจุ (Discharge) และการอัดประจุ (Charge)

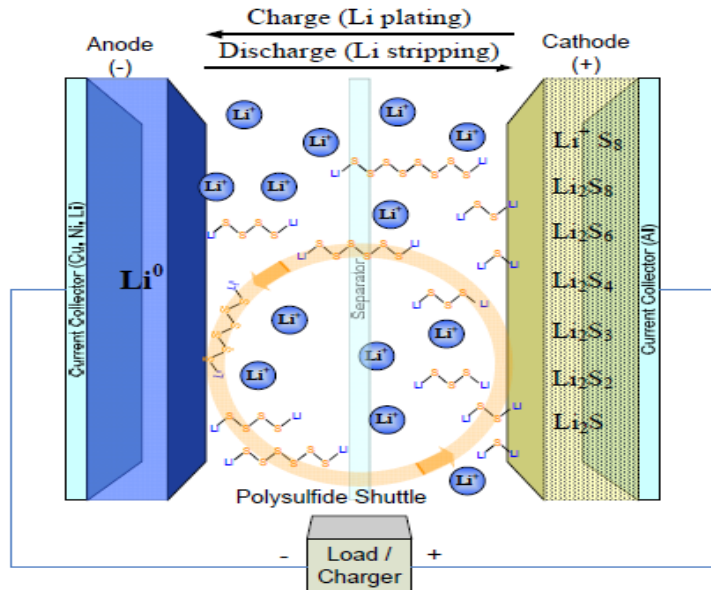
3.2.1 การคายประจุ

ปฏิกิริยาเคมีในแบตเตอรี่สามารถเกิดขึ้นได้เอง (Spontaneous reaction) โดยในกระบวนการคายประจุ (discharge process) พิจารณาได้จากสมการดังนี้ (Zhang et al., 2011)

Negative electrode:



Positive electrode:

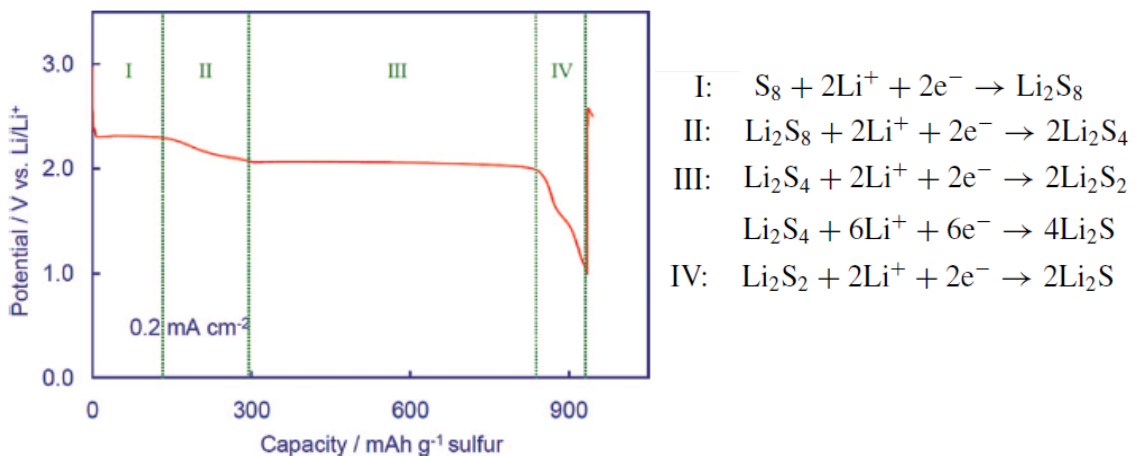


รูปที่ 3 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์

อ้างอิงจาก: <http://sionpower.com/pdf/articles/SionPowerECS.pdf>

จากสมการทั้งสอง ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีของ แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ แตกต่างจากใน แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยในแบตเตอรี่ชนิด ลิเทียมไอออนนั้น กระบวนการอัดและคายประจุจะ เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของ Li^+ เข้าไปแทรกตัวอยู่ใน โครงสร้างของวัสดุที่ใช้ทำขั้วแคโทดและแอโนด (เรียก กระบวนการนี้ว่า Intercalation process) ในขณะที่ สำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์นั้น ปฏิกิริยา ไฟฟ้าเคมีจะเกี่ยวข้องกับการทำปฏิกิริยาของซัลเฟอร์ กับลิเทียมเกิดเป็นสารประกอบลิเทียมซัลไฟด์ได้หลาย รูป โดยสามารถแบ่งแยกย่อยได้เป็นหลายขั้นตอน ดัง แสดงในรูปที่ 4 กล่าวคือ ในขั้นแรก S_8 จะทำปฏิกิริยากับ Li^+ และเปลี่ยนเป็นโครงสร้างลิเทียมซัลไฟด์ ของ Li_2S_8 และ Li_2S_4 (จะเห็นว่า สามารถเกิดสารประกอบ ลิเทียมซัลไฟด์ได้หลายองค์ประกอบเคมี เราจึงมักเรียก

สารประกอบเหล่านี้รวมกันว่า Polysulfides) ดังแสดง ในขั้นตอนที่ I และ II ซึ่งสารประกอบ Li_2S_8 และ Li_2S_4 สามารถละลายอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ได้ และพิจารณาจากรูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงเฟสของ Polysulfides ดังกล่าว จะสามารถอธิบายการเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าซึ่งเกิด ที่ช่วงโวลต์ประมาณ 2.4–2.15 V (บริเวณ I-II) ได้ ที่ ช่วงโวลต์ประมาณ 2.15 V (บริเวณ III) ซึ่งเกิดจากการ เปลี่ยนโครงสร้างจาก Li_2S_4 ได้ผลิตภัณฑ์ คือ Li_2S_2 และ Li_2S ซึ่งไม่ละลายในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และ จะเกิดเป็นตะกอนของแข็งที่ขั้วแคโทด (Yang et al., 2012) และช่วงโวลต์ต่ำกว่า 2.15 V (บริเวณ IV) จะ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงเฟสที่เกิดขึ้นได้ช้าและน้อย มากจาก Li_2S_2 เป็น Li_2S ซึ่งเป็นสารประกอบลิเทียม ซัลไฟด์ที่ไม่นำไฟฟ้า จึงส่งผลให้ค่าโวลต์ลดลงอย่าง รวดเร็ว



รูปที่ 4 ศักย์ไฟฟ้า (แกน y) และความจุไฟฟ้าของ แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ ขณะอัดประจุและคายประจุ (Evers and Nazar, 2013) รวมถึงขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้น

ดัดแปลงจาก: Barghamadi et al., 2013

3.2.2 การอัดประจุ

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น จะเกิดขึ้นย้อนกลับกับ กระบวนการคายประจุ กล่าวคือ พลังงานไฟฟ้าที่เรา ประจุไฟเข้าไปทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่ โดยทำให้ลิเทียมไอออนแตกตัว และสร้างเป็นโครงสร้าง

Polysulfides ที่มีซัลเฟอร์ในโครงสร้างเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และเมื่อทำการประจุไฟเต็ม จะเกิดเป็นสารประกอบ S_8 เราจะเห็นว่า การที่ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีของ แบตเตอรี่ ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ เกี่ยวข้องกับการสร้าง Li_2S ที่เป็น ตะกอนบางส่วน และไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้ระหว่าง

กระบวนการคายประจุและอัดประจุ จึงเป็นผลให้ค่าความจุไฟฟ้าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อผ่านการใช้งานหลาย ๆ รอบ และทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ประเภทนี้ค่อนข้างสั้น

4. ความท้าทายของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์

อย่างที่ได้อธิบายมาแล้วว่า ปัญหาที่สำคัญของแบตเตอรี่ชนิดใหม่คือ การลดลงของความจุไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว และมีรอบการใช้งานที่สั้น โดยสาเหตุของปัญหานั้นเกิด 3 ปัจจัยหลัก คือ

1. ซัลเฟอร์มีการขยายตัวสูง (high volume expansion) เมื่อสร้างเป็นสารประกอบกับลิเทียม โดยเฉพาะในช่วงใกล้ถึงจุดที่มีการคายประจุเกือบหมด ซัลเฟอร์จะเปลี่ยนโครงสร้างเป็น Li_2S (ของแข็ง) ซึ่งเมื่อเกิดการขยายตัวมาก จนทำให้เกิดการหลุดลอกของชั้น Li_2S ทำให้ค่าความจุไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว
2. Li_2S เป็นตัวนำไอออนิกและตัวนำอิเล็กตรอนที่ไม่ดีด้วยเช่นกัน โดยมี electronic resistivity สูงกว่า 10^{14} โอห์ม-เมตร (Yang et al., 2012) ซึ่งทำให้ Li^+ แพร่ออกจากโครงสร้างไปได้ลำบาก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusivity) ของ Li^+ ที่แพร่ออกจาก Li_2S ราว 10^{-15} ตารางเซนติเมตรต่อวินาที ส่งผลให้ระบบมีความต้านทานเพิ่มสูงขึ้น และค่าศักย์ไฟฟ้าลดลง
3. ในกระบวนการคายประจุ สารประกอบลิเทียมซัลไฟด์หลายชนิด (เรียกรวมกันว่า Polysulfides) ที่ละลายอยู่ในอิเล็กโทรไลต์สามารถที่จะเคลื่อนมายังขั้วแอโนดแล้วถูกรีดิวส์กลายเป็น Li_2S (กระบวนการเกิดจะกล่าว

ในหัวข้อถัดไป) ทำให้ทั้งขั้วแอโนดและแคโทดมีชั้นของ Li_2S อยู่ทำให้ทั้งระบบมีค่าความต้านทานเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้ค่าความจุไฟฟ้า และค่าประสิทธิภาพของการชาร์จ (Columbic efficiency) ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “Shuttle effect” (Yang et al., 2013)

5. นวัตกรรมเทคโนโลยีกับการเพิ่มประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์

จากปัญหาข้างต้น นักวิจัยจากทั่วโลกได้พยายามแก้ปัญหาหลากหลายวิธี โดยการนำนาโนเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ เพิ่มสูงขึ้น เช่น การพัฒนาโครงสร้างของวัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าให้อยู่ในระดับนาโนเมตร การเคลือบด้วยวัสดุนำไฟฟ้า หรือการพัฒนาสารอิเล็กโทรไลต์ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น มีโครงสร้างหลากหลายขึ้น และด้วยวิธีการสังเคราะห์ใหม่ ๆ เป็นต้น

สำหรับการพัฒนาโครงสร้างของวัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าให้อยู่ในระดับนาโนนั้น เป็นที่ทราบกันดีว่าการลดขนาดของอนุภาคของวัสดุให้อยู่ในระดับนาโนเมตร (10^{-9} m) นี้ มีผลทำให้สมบัติของวัสดุเปลี่ยนไปหลายประการ เช่น ทำให้การถ่ายเทประจุระหว่างวัสดุกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์เกิดได้ดีขึ้น เพราะมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์สูงขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยาต่างๆเกิดได้รวดเร็ว การใช้อนุภาคขนาดเล็กยังทำให้ระยะทางในการแพร่/ไหลของลิเทียมไอออน ระหว่างอนุภาคกับอนุภาคและระหว่างอนุภาคกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์สั้นลง (short diffusion length) ทำให้มีความนำไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์และความนำไฟฟ้าแบบไอออนิกสูงขึ้น ทำให้แบตเตอรี่มีกำลังส่ง (power-delivery) สูงขึ้น (Yao et

al., 2013) ยังมีการค้นพบว่าการใช้วัสดุ โครงสร้างนาโนช่วยให้สมบัติเชิงกลของวัสดุโครงสร้างโพลิเมอร์ในแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออนดีขึ้นโดยช่วยลดความเครียดภายในโครงสร้างของวัสดุที่เกิดจากการอัดและคายประจุซ้ำหลายรอบอีกด้วย (Meethong, 2010) สำหรับในแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ ได้มีการปรับแต่งโครงสร้างของขั้วไฟฟ้า โดยเฉพาะขั้วแคโทด โดยการเพิ่มช่องว่างเพื่อรองรับการขยายตัว (volume expansion) ของซัลเฟอร์ S และสามารถแก้ไขการลดลงของค่าความจุไฟฟ้าได้ โดยใช้วัสดุคอมพอสิตของคาร์บอนพูนและซัลเฟอร์ (Weishan and Cairns, 2012) ใช้โครงสร้างคอมพอสิตของอนุภาคนาโนของ S กับ TiO_2 ที่มี TiO_2 เป็นเปลือกหุ้มคล้ายไข่หรือ yolk-shell structure (She et al., 2013) ใช้โครงสร้างพอลิเมอร์เคลือบซัลเฟอร์กลวง (polymer-hollow sulfur nanostructure) เป็นต้น โดยโครงสร้างเหล่านี้จะมีความเสถียรมากขึ้น ไม่เกิดการแตกหักเสียหายหลังจากถูกอัดและคายประจุซ้ำ ๆ หลายรอบ

การเพิ่มปริมาณสารเคลือบผิวซึ่งนำไฟฟ้าบนผิวของซัลเฟอร์เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ทำให้ปัญหาการลดลงของค่าความจุไฟฟ้าเมื่อถูกใช้งานดีขึ้น การนำคาร์บอนรูปต่าง ๆ ช่วยให้การนำไฟฟ้าดีขึ้นและป้องกันไม่ให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลงไป (Evers and Nazar, 2013) เช่น การใช้ขั้วไฟฟ้าที่มีโครงสร้างนาโนคาร์บอน 1 มิติ (Zheng et al., 2011) สามารถทำให้มีค่าความจุไฟฟ้าสูง (โดยรอบแรกมีค่าสูงถึง 1,230 mAh/g และลดลงเหลือ 73% เมื่อผ่านไป 100 รอบ) อายุการใช้งานที่ยาวนาน และค่าประสิทธิภาพการชาร์จ (Coulombic efficiency) เฉลี่ยประมาณ 99.2% เป็นต้น

การเลือกใช้สารอิเล็กโทรไลต์ที่สามารถลดการเกิดปรากฏการณ์ Shuttle effect ได้ เช่น LiNO_3 (Zhang, 2010) สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและทำ

ให้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ มีสมบัติทางไฟฟ้าเคมีที่ดีขึ้นมาก

นับเป็นความก้าวหน้าของงานวิจัยเกี่ยวกับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ ที่มีทีมนักวิจัยพยายามหาวิธีที่จะปรับแต่งหรือปรับปรุงโครงสร้างโดยการนำนาโนเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ และแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ จะเป็นอีกนวัตกรรมที่ล้ำหน้าและเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นแหล่งเก็บพลังงานไฟฟ้าขนาดใหญ่สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์และการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งหมุนเวียนมากขึ้น โดยมีการคาดการณ์ว่า แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ อาจเป็นเทคโนโลยีที่สามารถทดแทนแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออนได้ ภายในปี 2020–2025 นี้ (Boston Consultancy Group, 2010)

6. สรุป

เทคโนโลยีแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ซัลเฟอร์ (Li-S battery) เป็นแบตเตอรี่ชนิดใหม่ที่มีค่าความหนาแน่นจำเพาะในทางทฤษฎีที่สูง สามารถใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง มีราคาถูกเนื่องจากในธรรมชาตินั้นมีซัลเฟอร์อยู่เป็นจำนวนมาก มีความปลอดภัยและมีความเป็นพิษต่ำ และอาจถูกนำมาใช้ทดแทนแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนในไม่ช้า อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีนี้ยังมีข้อจำกัดที่รอการพัฒนาจากนักวิจัยอยู่อีกหลายประการ เช่น มีการลดลงของความจุไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว (high capacity fading) และมีรอบการใช้งานที่สั้น (poor cycle life) ซึ่งปัญหาดังกล่าวเกี่ยวข้องกับลักษณะและโครงสร้างของวัสดุที่นำมาใช้ทำขั้วแคโทด ขั้วแอโนด และอิเล็กโทรไลต์ การนำเทคโนโลยีนาโนมาใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว สามารถทำให้แบตเตอรี่ชนิดใหม่นี้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น เช่น เมื่อโครงสร้างของวัสดุที่นำมาทำขั้วแคโทดมีขนาดเล็กในระดับนาโนทำให้ลดระยะทางการเคลื่อนที่ของทั้ง

อิเล็กทรอนิกส์และลิเทียมไอออนส่งผลให้มีค่าความจุไฟฟ้าที่สูงขึ้น หรือการเตรียมโครงสร้างซัลเฟอร์ฝังตัวอยู่ในวัสดุที่ช่วยในการนำไฟฟ้าที่มีรูพรุนในระดับนาโน ซึ่งนอกจากจะช่วยทำให้การนำไฟฟ้าในวัสดุดีขึ้นแล้วยังลดการเกิด Shuttle effect ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของปัญหานี้ด้วย จึงอาจกล่าวได้ว่าการนำเทคโนโลยีนาโนมาประยุกต์รวมกับการตัดแปลงโครงสร้างของวัสดุที่นำมาทำขั้วไฟฟ้าสามารถลดปัญหาที่เกิดขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบลิเทียม-ซัลเฟอร์ได้ และทำให้ความหวังที่จะเห็นการใช้รถยนต์ไฟฟ้าอย่างกว้างขวางและการใช้พลังงานทดแทนอย่างเต็มประสิทธิภาพมีมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Barghamadi, M., Kapoor, A. and Wen, C. (2013). A Review on Li-S Batteries as a High Efficiency Rechargeable Lithium Battery. *J. Electrochem Soc.* 160(8): A1256-A1263.
- Boston Consultancy Group. (2010). Energy storage. สืบค้นจากรายการ www.bcg.com/document/file36615.pdf
- Buchmann, I. (n.d.). Comparison table of secondary batteries. ค้นเมื่อ 10 กรกฎาคม 2556, จาก http://batteryuniversity.com/learn/article/secondary_batteries
- Evers, S. and Nazar, L. F. (2012). New Approaches for High Energy Density Lithium-Sulfur Battery Cathodes. *Accounts of chemical research* 5(46): 1135-1143.
- Linden, D. and Reddy, T. B. (2002). *Handbook of batteries*. New York.
- Meethong, N. (2011). New rechargeable batteries for the future: Sodium-ion batteries. *KKU Science Journal* 39(4): 598-607.
- Meethong, N. (2010). Nano-materials for Lithium-ion batteries. (in Thai) *MTEC Journal* 6: 20-28.
- Rao, M., Li, W. and Cairns, E. J. (2012). Porous carbon-sulfur composite cathode for lithium/sulfur cells. *Electrochem. Commun.* 17: 1-5.
- Seh, Z. W., Li, W., Cha, J. J., Zheng, G., Yang, Y., McDowell, M. T. and Cui, Y. (2013). Sulphur-TiO₂ yolk-shell nanoarchitecture with internal void space for long-cycle lithium-sulphur batteries. *Nature commun.* 4: 1331.
- Yang, Y., Zheng, G., & Cui, Y. (2013). Nanostructured sulfur cathodes. *Chem. Soc. Reviews.* 42(7): 3018-3032.
- Yang, Y., Zheng, G., Misra, S., Nelson, J., Toney, M. F. and Cui, Y. (2012). High-capacity micrometer-sized Li₂S particles as cathode materials for advanced rechargeable lithium-ion batteries. *J. Am. Chem. Soc.* 134(37): 15387-15394.
- Yao, H., Zheng, G., Li, W., McDowell, M. T., Seh, Z. W., Liu, N. and Cui, Y. (2013). Crab Shells as Sustainable Templates From Nature for Nanostructured Battery Electrodes. *Nano Letters* 13(7): 3385-3390.
- Zhang, Y., Zhao, Y., Sun, K. E. and Chen, P. (2011). Development in Lithium/Sulfur Secondary Batteries. *Open Materials Science Journal* 5(1): 215-221.
- Zhang, S. S. (2012). Role of LiNO₃ in rechargeable lithium/sulfur battery. *Electrochimica Acta* 70: 344-348.
- Zheng, G., Yang, Y., Cha, J. J., Hong, S. S. and Cui, Y. (2011). Hollow carbon nanofiber encapsulated sulfur cathodes for high specific capacity rechargeable lithium batteries. *Nano letters* 11(10): 4462-4467.

