การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเบื้องต้นและผลกระทบของสภาวะแวดล้อมในการจัดเก็บของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนในประเทศไทย

Analyses of Basic Performances of and Effects of Storage Conditions on Lithium-ion Batteries in Thailand

อุกฤษฎ์ สหพัฒน์สมบัติ, สิทธา สุขกสิ*
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน
ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทรศัพท์: (662) 5646500 ต่อ 4766, โทรสาร: (662) 5646403
E-mail: sitthas@mtec.or.th

Ukrit Sahapatsombut and Sittha Sukkasi*
National Metal and Materials Technology Center, 114 Thailand Science Park Paholyothin Rd.
Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand Tel: 0-2564-6500 Fax: 0-2564-6403 E-mail: sitthas@mtec.or.th

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีแบตเตอรี่เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่สามารถสนับสนุนประเทศไทยให้พัฒนาอย่างยั่งยืนได้ เนื่องจากเป็นส่วนประกอบหลักของยานยนต์ไฟฟ้าและระบบกักเก็บไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียน ซึ่งในปัจจุบันมีเทคโนโลยีแบตเตอรี่หลายชนิด โดยเฉพาะแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนั้นกำลังเป็นที่นิยมและมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความหนาแน่นของพลังงานทั้งต่อน้ำหนักและปริมาตรสูงกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น มีอัตราการเสียประจุไฟฟ้าขณะไม่ได้ใช้งานต่ำ และไม่มีความเสื่อมที่เป็นผลจากความจำในการชาร์จแบตเตอรี่ โดยที่ผ่านมานักวิจัยและผู้ผลิตทั่วโลกได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนออกมาหลายรูปแบบ เช่น $LiCoO_2$ $LiFePO_4$ และ $LiMn_2O_4$ เป็นต้น และแต่ละรูปแบบมีความเด่นทางด้านราคาและประสิทธิภาพที่ต่างกัน การเลือกแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งานและสภาพแวดล้อมในประเทศไทยจึงมีความสำคัญมาก แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาประสิทธิภาพของลิเทียมไอออนในสภาวะแวดล้อมการใช้งานในประเทศไทยยังไม่แพร่หลาย ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาประสิทธิภาพเบื้องต้นของกลุ่มตัวอย่างแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่างๆที่มีขายในตลาดประเทศไทย ภายใต้สภาวะการใช้งานในประเทศไทย โดยเน้นการทดสอบประสิทธิภาพในด้านที่มีผลกระทบสูงต่อการใช้งาน พบว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตมีประสิทธิภาพการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่อัตรากระแสต่างๆ ดีผลกว่าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนออกไซด์ และแรงดันไฟฟ้าระหว่างการปล่อยประจุมีค่าที่ค่อนข้างคงที่ ส่วนการคงสภาพประจุและการฟื้นความจุของแบตเตอรี่มีค่าลดลงตามระยะเวลาที่เก็บรักษาไว้ในสภาวะการเก็บแบตเตอรี่ที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ด้านความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งคำนวณโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพต่อราคาของแบตเตอรี่แต่ละชนิด เช่นความจุไฟฟ้าต่อราคาและแรงดันไฟฟ้าต่อราคา พบว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตมีค่ามากกว่าของลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ ซึ่งผลของการศึกษานี้จะสามารถเป็นแนวทางให้ผู้ใช้แบตเตอรี่ในประเทศไทยเลือกซื้อและใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนให้ได้ความคุ้มทุนและประสิทธิภาพตรงตามความต้องการ และ ช่วยเป็นแนวทางการวิจัยแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนให้เหมาะสมกับสภาวะการใช้งานในประเทศไทยในระดับต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ : แบตเตอรี่ลิเลียมไอออน, ประสิทธิภาพเบื้องต้น, ผลกระทบของสภาวะแวดล้อมในการจัดเก็บ

Abstract

Battery technology is an important factor in several paths toward sustainable development of Thailand, including the utilization of clean technologies, such as electric vehicles and power generation from renewable energy. Li-ion batteries, in particular, are now at the center of attention of worldwide research and development endeavors, and are widely used in numerous consumer products. This is due to the batteries' high specific energy and volumetric energy density, slow self-discharge rate, and lack of memory effects. Several types of Li-ion batteries have been developed, including $LiCoO_2$ $LiFePO_4$, and $LiMn_2O_4$, with each type having different price and performance advantages. Selecting Li-ion battery types that are

appropriate to the applications and use environments can therefore be challenging. This work aims to primarily study the performances of commercially available Li-ion batteries in Thailand, when they are subjected to the local use environments. The study focuses on the performances that significantly affect the usability of the batteries, with highlights including discharge performance and capacity. The performance of $LiFePO_4$ batteries at different discharge rates is better than that of the $LiCoO_2$ ones, and the nominal voltages of the $LiFePO_4$ batteries remain more constant during discharge periods. The charge retention and capacity recovery of batteries reduce after being kept in different conditions that represent typical storage conditions in Thailand. Furthermore, an analysis of economic advantages of different batteries was calculated by norminalizing performance values, such as maximum discharge capacities, per unit price. With the current battery prices in Thai consumer market, $LiFePO_4$ batteries outperform $LiCoO_2$ batteries. The results from this study can preliminarily guide battery consumers in Thailand to select batteries that are appropriate for their targeted performance and economic values. The results can also be built upon by advanced battery development in the future, in order to produce batteries that can excel in Thailand's use environment.

Keywords *: Lithium-ion battery, Basic performances, Effects of storage environment*

1. บทนำ

การที่ประเทศไทยจะพัฒนาอย่างยั่งยืนได้ จำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการสร้างสมดุลระหว่างการเติบโตของเศรษฐกิจ การพัฒนาของสังคม ความต้องการทางด้านพลังงาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้มีหลายแนวทางการพัฒนาที่จะสามารถสร้างและรักษาสมดุลดังกล่าวเพื่อให้ประเทศพัฒนาอย่างยั่งยืนได้ รวมถึง การพัฒนาการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อเป็นพลังงานทางเลือกในการคมนาคม และการพัฒนาพลังงานหมุนเวียน เป็นต้น ทั้งนี้การพัฒนาการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อเป็นพลังงานทางเลือกในการคมนาคม จะส่งผลให้มีการใช้ยานยนต์ไฟฟ้ามากขึ้น ซึ่งจะช่วยขยายเศรษฐกิจโดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมยานยนต์และการผลิตไฟฟ้า ช่วยตอบสนองความต้องการด้านการคมนาคมของสังคม ช่วยลดความต้องการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียม (เมื่อไฟฟ้าถูกผลิตด้วยวัตถุดิบในประเทศ) และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (เนื่องจากยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียวไม่ปล่อยมลพิษในท้องถนน ส่วนมลพิษที่อาจเกิดจากการผลิตไฟฟ้าก็สามารถควบคุมได้ง่ายที่แหล่งผลิต)

แบตเตอรี่เป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่สุดของการพัฒนาการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อเป็นพลังงานทางเลือกในการคมนาคม นอกจากนั้นแบตเตอรี่ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยให้พลังงานหมุนเวียนหลายประเภท เช่น พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ มีการนำมาใช้งานได้อย่างเต็มกำลังอีกด้วย จึงถือได้ว่าการพัฒนาแบตเตอรี่จะสามารถเป็นปัจจัยสำคัญในหลายแนวทางพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศไทยได้

อย่างไรก็ดี เป็นที่ยอมรับกันในหมู่นักวิจัยและผู้ผลิตทั่วโลกว่าแบตเตอรี่ยังต้องการการวิจัยและพัฒนาอีกมาก ประกอบกับเนื่องจากในปัจจุบันมีเทคโนโลยีแบตเตอรี่หลายชนิดและแต่ละชนิดก็มีความหลากหลายทางคุณสมบัติ แม้กระทั่งแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางว่าน่าจะมีศักยภาพดีที่สุดสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคต ก็ยังมีหลายรูปแบบ (เช่น $LiCoO_2$ $LiFePO_4$ และ $LiMn_2O_4$ เป็นต้น) การเลือกหรือพัฒนาแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับรูปแบบการใช้งาน โดยเฉพาะกับลักษณะการใช้งานในประเทศไทย จึงมีความสำคัญมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาประสิทธิภาพเบื้องต้นของตัวอย่างแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่างๆที่มีขายในตลาดประเทศไทย ภายใต้สภาวะการใช้งานในประเทศไทย โดยเน้นการทดสอบประสิทธิภาพในด้านที่มีผลกระทบสูงต่อการใช้งาน เช่นประสิทธิภาพการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่อัตรากระแสต่างๆ ผลกระทบของอัตราการชาร์จต่อความสามารถในการคายประจุภายหลัง และการคงสภาพประจุและการฟื้นความจุของแบตเตอรี่หลังจากถูกจัดเก็บเป็นเวลานานในสภาวะต่างๆที่ถือเป็นตัวอย่างของสภาวะการเก็บแบตเตอรี่ในประเทศไทยได้ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพต่อราคาของแบตเตอรี่แต่ละชนิด เช่น ความจุไฟฟ้าต่อราคาและแรงดันไฟฟ้าต่อราคา เป็นต้น ซึ่งผลของการศึกษานี้จะสามารถเป็นแนวทางให้ผู้ใช้แบตเตอรี่ในประเทศไทยเลือกซื้อและใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนให้ได้ความคุ้มทุนและประสิทธิภาพตรงตามความต้องการ และ ช่วยเป็นแนวทางการวิจัยแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนให้เหมาะสมกับสภาวะการใช้งานในประเทศไทยในระดับต่อไปในอนาคต

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

2.1 เครื่องวิเคราะห์และจัดการแบตเตอรี่ (Battery analyzer)

ในการจำลองการประจุไฟ (Charge) และปล่อยประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆได้ เช่น นิกเกิล-แคดเมียม (NiCd), นิเกิลเมทัลไฮไดรด์ (NiMH), ลิเทียมไอออน (Li-ion), ตะกั่ว-กรด (Lead acid) และแบตเตอรี่ชนิดปฐมภูมิทั่วไปได้ งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิเคราะห์ทดสอบแบตเตอรี่ขนาดเล็กซึ่งเป็นเครื่องวิเคราะห์แบตเตอรี่ความสามารถสูง ที่มีความสามารถจัดการทดสอบแบตเตอรี่ขั้นสูงได้หลากหลาย ยี่ห้อ Lamantia รุ่น BA453 ซึ่งมีระดับแรงดันและกระแสสูงสุดที่เหมาะกับงานและสามารถทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์โดยการส่งคำสั่งผ่านซอฟต์แวร์ โดยมีปุ่มควบคุมแสดงที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 เครื่องวิเคราะห์แบตเตอรี่ Lamantia รุ่น BA453

2.2 แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลอง

เพื่อที่จะศึกษาชนิดแบตเตอรี่ชนิดใหม่ที่มีการใช้งานอยู่ในประเทศไทย งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาแบตเตอรี่เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้นชนิดลิเทียมไอออน 2 ชนิดคือลิเทียมไอออนฟอสเฟต ($LiFePO_4$) และลิเทียมไอออนโคบอลต์ออกไซด์ ($LiCoO_2$) ซึ่งเป็นตัวแทนของแบตเตอรี่ส่วนใหญ่ที่มีขายอยู่ในประเทศไทย โดยมีคุณลักษณะดังนี้

- ตัวแทนของแบตเตอรี่ชั้นนำ: ลิเทียมไอออนฟอสเฟต ($LiFePO_4$) ชนิด ANR26650 ขนาดความจุ 2300 mAh, แรงดันฟ้าระบุ (Nominal Voltage) 3.3 V. เป็นแบตเตอรี่ของบริษัท A123 แบบนาโนฟอสเฟตลิเทียมไอออนและ เป็นชื่อทางการค้าของแบตเตอรี่ชนิดใหม่ ซึ่งถูกพัฒนาโดยบริษัท A123 Systems โดยนำแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมาพัฒนาให้สามารถจ่ายกระแสได้สูงขึ้น สามารถชาร์จประจุกลับได้รวดเร็วขึ้น และมีความทนทานมากขึ้น โดยใช้เทคโนโลยีนาโนฟอสเฟต ที่ค้นคว้าวิจัยโดยสถาบัน MIT (Massachusetts Institute of Technology) ดังแสดงในรูปที่ 2
- ตัวแทนของแบตเตอรี่ทั่วไป: ลิเทียมไอออนโคบอลต์ออกไซด์ ($LiCoO_2$) ชนิด ICR18650 ขนาดความจุ 2200 mAh, แรงดันฟ้าระบุ (Nominal Voltage)3.7 V เป็นแบตเตอรี่ที่มีการผลิตในประเทศจีน ดังแสดงในรูปที่ 3

รูปที่ 2 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต ($LiFePO_4$)

รูปที่ 3 แบตเตอรี่ลิเทียมลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ ($LiCoO_2$)

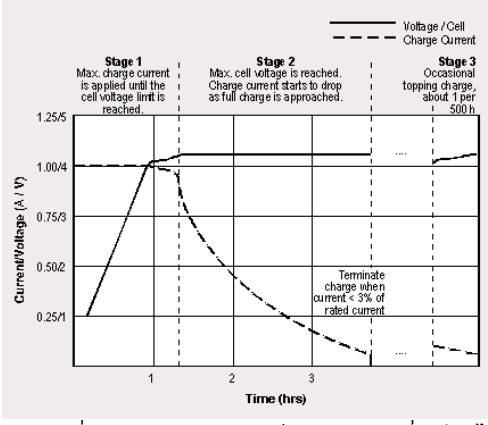
3. วิธีการทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในงานวิจัยจำเป็นต้องอาศัยความรู้ด้านเทคนิคเฉพาะเกี่ยวกับแบตเตอรี่หลายเรื่องซึ่งทางคณะวิจัยได้ศึกษาและนำมาปฏิบัติ ดังนี้

3.1 การชาร์จแบตเตอรี่

ในการชาร์จแบตเตอรี่ในงานวิจัยนี้เป็นแบบกระแสคงที่และแรงดันคงที่ (Constant Current - Constant Voltage: CC/CV) โดยการชาร์จจะประกอบด้วยสามระยะดังแสดงในรูปที่ 4 [1] คือ

- ระยะแรก เป็นการชาร์จแบบกระแสคงที่ในช่วงที่แบตเตอรี่มีแรงดันต่ำเครื่องจะทำการชาร์จด้วยระบบกระแสคงที่จนแรงดันในแบตเตอรี่สูงจนใกล้แรงดันที่กำหนดไว้โดยใช้กระแสที่สูงพอสมควร โดยในระยะนี้จะเป็นการชาร์จในอัตราเร่ง
- ระยะที่สอง เป็นการชาร์จแบบแรงดันคงที่ต่อจากระยะแรก หลังจากที่แต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ถึงระดับความแรงดันสูงสุด ในระยะนี้กระแสของเครื่องชาร์จที่เข้าแบตเตอรี่จะลดลง (ตามเส้นประในรูปที่ 4) และจะตัดการชาร์จเมื่อกระแสต่ำกว่า 3% ของอัตรากระแสเฉลี่ยหรือขึ้นอยู่กับผู้ผลิตแบตเตอรี่ ดังนั้นถ้าใช้แรงดันแบตเตอรี่จนใกล้หมดแล้วค่อยชาร์จนั้นแบตเตอรี่จะถูกชาร์จ ด้วยกระแสสูงคงที่เป็นเวลานานทำให้เครื่องและแบตเตอรี่ร้อนเป็นเวลานาน ส่งผลทำให้แบตเตอรี่เสื่อมเร็วกว่าปกติเล็กน้อย
- ระยะที่สาม เป็นการชาร์จเพื่อที่จะทำให้แบตเตอรี่เต็มอยู่ตลอดเวลาเป็นครั้งๆ (Occasional Topping Charge)



รูปที่ 4 คุณลักษณะการชาร์จของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบกระแสคงที่และแรงดันคงที่ (CCCV)

3.2 การคงสภาพและการฟื้นประจุความจุไฟฟ้า (Charge Retention and Capacity Recovery Battery)

การคงสภาพของประจุ (Charge Retention) หมายถึงความจุไฟฟ้าของเซลล์หรือแบตเตอรี่ที่สามารถปล่อยประจุออกมาได้หลังการเก็บไว้ที่อุณหภูมิจำเพาะในช่วงเวลาที่กำหนด โดยไม่ต้องผ่านการประจุซ้ำคิดเป็นร้อยละของความจุไฟฟ้าที่กำหนด

การฟื้นประจุ (Capacity Recovery) หมายถึงความจุไฟฟ้าของเซลล์หรือแบตเตอรี่ที่สามารถปล่อยประจุออกมาได้หลังจากการทดสอบการคงสภาพของประจุ

การทดสอบนี้เป็นการหาค่าความจุไฟฟ้าครั้งแรกที่ยังคงมีอยู่ของเซลล์หรือแบตเตอรี่หลังจากการจัดเก็บเป็นเวลานานในช่วงเวลาหนึ่ง (Charge Retention) และครั้งที่สองหาค่าความจุไฟฟ้าที่ได้จากการฟื้นประจุและโดยการประจุภายหลังต่อมา (Capacity Recovery) ซึ่งแบตเตอรี่โดยทั่วไปแล้วจะสามารถคายประจุได้เองหลังจากเก็บรักษาไว้ในระยะเวลาหนึ่ง ดังนั้นในการใช้งานจริงจึงต้องมีการดูถึงประสิทธิภาพในการคงสภาพและการฟื้นประจุความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ด้วย โดยตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเซลล์และแบตเตอรี่ทุติยภูมิที่มีอิเล็กโทรไลต์แอลคาไลน์หรือมีอิเล็กโทรไลต์อื่นที่ไม่ใช่กรด-เซลล์และแบตเตอรี่ทุติยภูมิระบบลิเทียมสำหรับการใช้งานแบบพกพา (มอก. 2215-2548) [2] หลังจากเก็บไว้นาน 2 เดือน การคงสภาพของประจุสำหรับแบตเตอรี่ควรจะไม่น้อยกว่า 60% C_5 Ah และการฟื้นประจุของสำหรับแบตเตอรี่ควรจะไม่น้อยกว่า 85% C_5 Ah

3.3 แรงดันปล่อยประจุสุดท้าย (End-of-discharge Voltage หรือ Final Voltage)

หมายถึงแรงดันไฟฟ้าวงจรปิดที่กำหนดเมื่อเซลล์หรือแบตเตอรี่หยุดการปล่อยประจุ

3.4 แรงดันไฟฟ้าระบุ (Nominal Voltage)

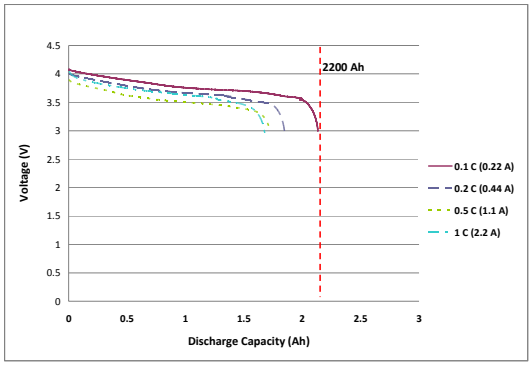
หมายถึงค่าโดยประมาณที่เหมาะสมของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ระบุแรงดันไฟฟ้าของเซลล์หรือแบตเตอรี่

3.5 ความจุไฟฟ้าที่ผู้ผลิตกำหนด (Nominal Capacity)

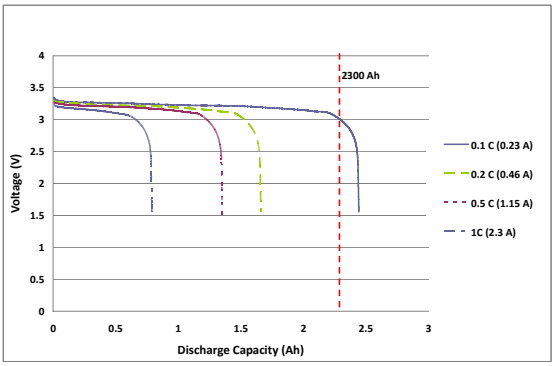
หมายถึงปริมาณของไฟฟ้า C_5 (แอมแปร์ชั่วโมง, Ah) ที่ผู้ทำแจ้งไว้ซึ่งเซลล์เดี่ยวหรือแบตเตอรี่สามารถปล่อยออกได้ระหว่างคาบ 5 ชั่วโมง หลังจากการประจุ การจัดเก็บ และการปล่อยประจุตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ (Results and Discussions)

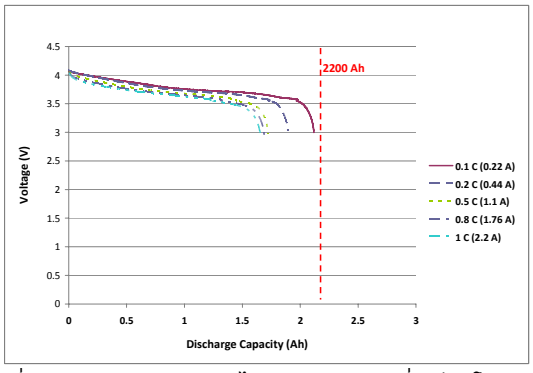
หากไม่ได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น การทดสอบทั้งหมดที่อธิบายไว้ต่อไปนี้ทำในที่ที่มีอากาศนิ่ง ส่วนกระแสไฟฟ้าประจุ (Charge Current) และกระแสไฟฟ้าปล่อยประจุ (Discharge Current) สำหรับทดสอบจะต้องตั้งค่าตามค่าของความจุไฟฟ้าที่กำหนด (C_5 แอมแปร์ชั่วโมง) โดยกระแสไฟฟ้าดังกล่าวให้แสดงเป็นจำนวนเท่าของ C แอมแปร์ เมื่อ C แอมแปร์ = C_n แอมแปร์ชั่วโมง/1 ชั่วโมง เช่น แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขนาดความจุ 2200 มิลลิแอมแปร์ชั่วโมง จะแสดงกระแสไฟฟ้าเป็นจำนวนเท่าโดย 1C, 0.5C และ 0.2C จะเท่ากับกระแสไฟฟ้า 2200, 1100 และ 440 แอมแปร์ตามลำดับ โดยลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าระบุประมาณ 3.7 V ส่วนลิเทียมไอออนฟอสเฟตจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าระบุประมาณ 3.3 V



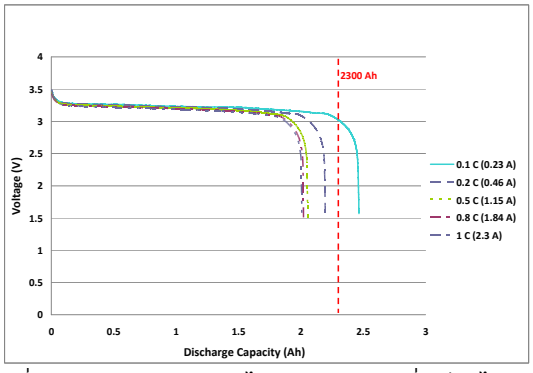
รูปที่ 5 ปริมาณความจุกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ ($LiCoO_2$) ที่การปล่อยกระแสคงที่ต่างๆ กัน (Charge: ที่กระแสคงที่และแรงดันคงที่ 440 mA ถึง 4.2 V)



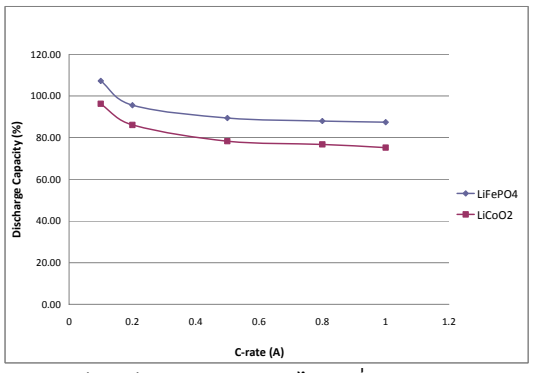
รูปที่ 6 ปริมาณความจุกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต ($LiFePO_4$) ที่การปล่อยกระแสคงที่ต่างๆ กัน (Charge:ที่กระแสคงที่และแรงดันคงที่ 460 mA ถึง 3.6 V)



รูปที่ 7 ปริมาณความจุกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ ($LiCoO_2$) ที่การปล่อยกระแสคงที่ต่างๆ กัน (Charge: ที่กระแสคงที่และแรงดันคงที่ 1100 mA ถึง 4.2 V)



รูปที่ 8 ปริมาณความจุกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต ($LiFePO_4$) ที่การปล่อยกระแสคงที่ต่างๆ กัน (Charge: ที่กระแสคงที่และแรงดันคงที่ 1500 mA ถึง 3.6 V)



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบปริมาณความจุไฟฟ้าที่กระแสปล่อยประจุต่างๆ กันระหว่าง แบตเตอรี่โคบอลต์ออกไซด์และลิเทียมไอออนฟอสเฟต

4.1 การทดสอบความจุไฟฟ้าที่กำหนดที่กระแสไฟฟ้าปล่อยประจุคงที่ต่าง ๆ (Discharge Rate Capacity)

โดยทั่วไปความจุไฟฟ้าที่กำหนดของแบตเตอรี่ (Rate Capacity) แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับการออกแบบและขนาดของผู้ผลิต ทำให้ความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละชนิดแตกต่างกันไป [3] ดังนั้นในการทดสอบประจุไฟฟ้าเพื่อดูปริมาณกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์ชั่วโมง, Ah) ของแบตเตอรี่ 2 ชนิด คือ ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ ($LiCoO_2$) และลิเทียมไอออนฟอสเฟต ($LiFePO_4$) พบว่า

- แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมที่ใช้ในการทดสอบนี้ทั้งสองชนิดเมื่อทำการชาร์จที่กระแสไฟฟ้าประจุต่ำๆ (Low charging current) จนถึงแรงดันไฟฟ้าที่ผู้ผลิตระบุของแบตเตอรี่ก็ตาม หลังจากทำการคายประจุที่กระแสต่างๆ พบว่าความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ทั้งสองชนิด

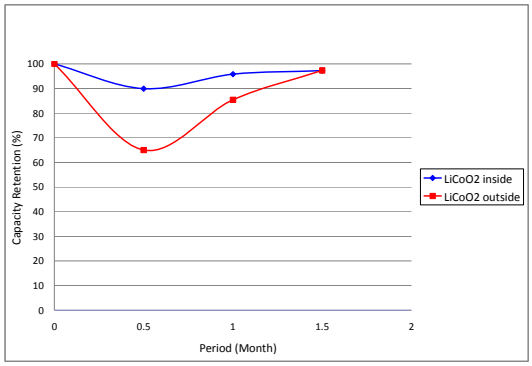
มีค่าน้อยกว่าความจุไฟฟ้าที่ผู้ผลิตบอกไว้และถ้ากระแสไฟฟ้าการคายประจุยิ่งสูงมากเท่าไรจะทำให้ความจุไฟฟ้ามีค่าน้อยลงตามไปด้วยดังจะเห็นได้จากรูปที่ 5 และ รูปที่ 6

- ที่กระแสไฟฟ้าปล่อยประจุต่างๆ กันตั้งแต่ 0.1 C ถึง 1 C ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 25 °C สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7 และ รูปที่ 8 พบว่าที่กระแสไฟฟ้าปล่อยประจุต่ำๆ (0.1C) ความจุไฟฟ้าที่ได้ของลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์มีค่า 2.12 แอมแปร์ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่าความจุไฟฟ้าที่กำหนดของตัวแบตเตอรี่เองที่กำหนดไว้ 2.20 แอมแปร์ชั่วโมง ในขณะที่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต มีค่าสูงถึง 2.67 แอมแปร์ชั่วโมง ซึ่งมากกว่าความจุไฟฟ้าที่กำหนดของตัวแบตเตอรี่เองที่กำหนดไว้ 2.30 แอมแปร์ชั่วโมง โดยทั่วไปแล้วแบตเตอรี่ควรจะมีความจุไฟฟ้าที่กระแสปล่อยประจุต่ำๆ ใกล้เคียงกับค่าความจุไฟฟ้าที่กำหนดไว้บนตัวแบตเตอรี่เอง ในขณะที่ถ้ากระแสปล่อยประจุของแบตเตอรี่มีค่าสูงขึ้นถึง 1C ความจุไฟฟ้าที่ได้ของแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะมีค่าน้อยลงโดยลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์มีค่า 1.65 แอมแปร์ชั่วโมง (จากความจุไฟฟ้าที่กำหนดไว้ 2.2 Ah หรือคิดเป็น 75%) ในขณะที่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต มีค่า 2.01 แอมแปร์ชั่วโมง (จากความจุไฟฟ้าที่กำหนดไว้ 2.3 Ah หรือคิดเป็น 87.4%) ซึ่งมีค่ามากกว่าของแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์
- แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละชนิดระหว่างการปล่อยประจุ พบว่าลิเทียมไอออนฟอสเฟต มีค่าที่ค่อนข้างคงที่กว่าดังจะเห็นได้จากกราฟรูปที่ 8 เมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันระหว่างการปล่อยประจุของลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่มีค่าตกลงอย่างเห็นได้ชัดดังแสดงจะเห็นได้จากกราฟในรูปที่ 7
- ความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตมีค่ามากกว่าลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่ทุกค่ากระแสปล่อยประจุดังจะเห็นได้จากรูปที่ 9

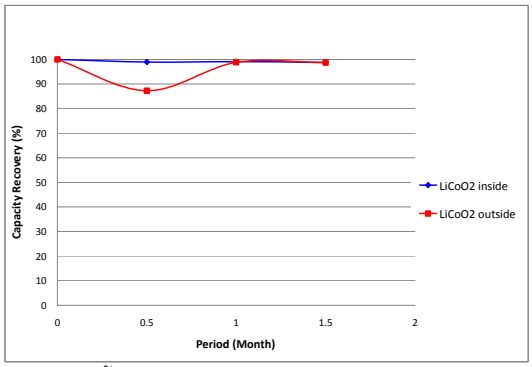
4.2 การทดสอบการคงสภาพและการฟื้นประจุความจุไฟฟ้า (Charge Retention and Capacity Recovery Battery)

แบตเตอรี่เมื่อเก็บรักษาไว้ระยะเวลาหนึ่งจะมีการปล่อยประจุไฟฟ้าได้เองหรือที่เรียกว่า Self-discharge rate ซึ่งจะทำให้ความจุกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลดลง [3] ดังนั้นการทดลองการคงสภาพในหัวข้อนี้จะดูปริมาณความจุไฟฟ้าที่เหลืออยู่ของแบตเตอรี่ 2 ชนิด คือ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโคบอลต์ออกไซด์และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตภายหลังจากที่เก็บเป็นระยะเวลาต่างๆ ที่สภาพวะการเก็บรักษาในสภาวะอากาศของประเทศไทยที่แตกต่างกัน 2 สภาวะคือ ภายในห้องที่มีอุณหภูมิประมาณ 25 °C และภายนอกห้องที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 30 °C หลังจากนั้นแบตเตอรี่ทั้ง 2 ชนิดจะนำมาประจุไฟฟ้าและปล่อยประจุไฟฟ้าเพื่อดูการฟื้นความจุไฟฟ้า พบว่า

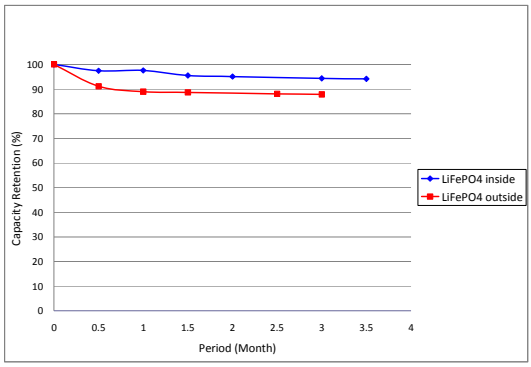
- แบตเตอรี่เมื่อเก็บไว้ระยะเวลาหนึ่งจะมีการปล่อยประจุไฟฟ้าได้เองทั้งการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 30 °C ดังแสดงในรูปที่ 10 และ รูปที่ 12 แสดงการคงสภาพประจุของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนออกไซด์และลิเทียมไอออนฟอสเฟตตามลำดับ โดยการเก็บแบตเตอรี่ในห้องที่มีอุณหภูมิสูงจะมีอัตราการการปล่อยประจุได้เองในอัตราที่สูงกว่าการเก็บแบตเตอรี่ไว้ภายในห้องเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงเป็นการเร่งให้แบตเตอรี่มีการคายประจุได้เร็วขึ้น [3]
- การเก็บรักษาแบตเตอรี่ไว้ในพื้นที่หรือการใช้งานแบตเตอรี่ในขณะที่มีอุณหภูมิสูง (เก็บข้างนอกห้อง) จะเป็นการช่วยเพิ่มอัตราการปล่อยประจุได้เอง ในปริมาณที่มากกว่าการเก็บไว้ที่อุณหภูมิปกติดังจะเห็นได้จากกราฟรูปที่ 10 และ 12 สำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนออกไซด์ที่เก็บไว้ด้านนอกมีการคงสภาพความจุเหลืออยู่เพียง 65% เมื่อเก็บไว้ครึ่งเดือนเมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ที่เก็บไว้ด้านในห้องมีการคงสภาพความจุเหลืออยู่ถึง 89.9% ในการเก็บที่ระยะเวลาเท่ากัน ในขณะที่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตมีการปล่อยประจุน้อยกว่า พบว่าเก็บไว้ด้านนอกมีสภาพความจุเหลืออยู่เพียง 90% และ 97.4% ในขณะที่เก็บไว้ด้านใน
- ในทำนองเดียวกันกับการคงสภาพความจุ การฟื้นประจุความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่เก็บไว้ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงจะมีการฟื้นประจุความจุไฟฟ้าน้อยกว่าแบตเตอรี่ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ดังจะเห็นได้จากกราฟรูปที่ 11 และรูปที่ 13 พบว่าเปอร์เซ็นต์ในการฟื้นประจุสำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนออกไซด์ที่เก็บไว้ด้านนอกมีค่า 87.25% ในขณะที่เก็บไว้ในห้องมีค่าสูงถึง 98.36% ส่วนลิเทียมไอออนฟอสเฟตที่เก็บไว้ด้านนอกห้องมีค่าเพียง 92.42% แต่ในขณะที่แบตเตอรี่ที่เก็บไว้ด้านในห้องมีค่าสูงถึง 99.59% ในการเก็บรักษาที่ระยะเวลาครึ่งเดือน



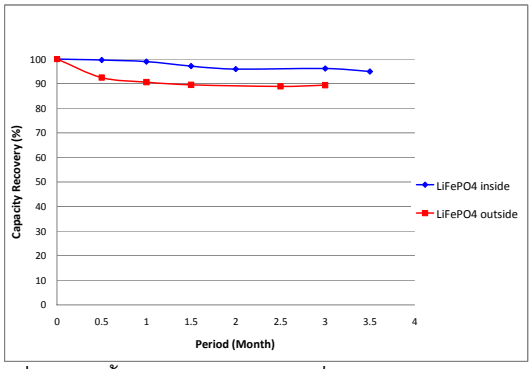
รูปที่ 10 การคงสภาพประจุสำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่อุณหภูมิ 25 และ 30 °C เมื่อทำการปล่อยประจุหลังจากเก็บไว้ตามระยะเวลาต่างๆ (Charge: ที่กระแสและแรงดันคงที่, 4.2 V, 1100 mA, Discharge: ที่กระแสคงที่ 0.2C (440 mA) ถึงแรงดันปล่อยประจุสุดท้าย 3 V)



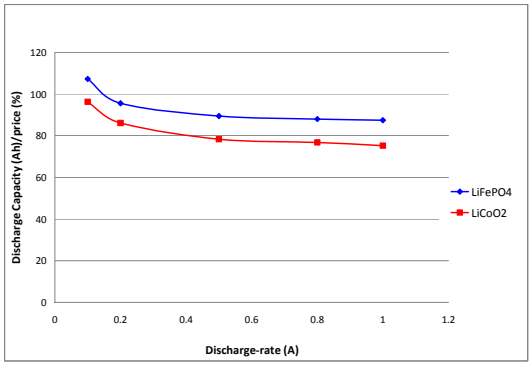
รูปที่ 11 การฟื้นประจุสำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่อุณหภูมิ 25 และ 30 °C เมื่อทำการปล่อยประจุหลังจากเก็บไว้ตามระยะเวลาต่างๆ (Charge: ที่กระแสและแรงดันคงที่, 4.2 V, 1100 mA, Discharge: ที่กระแสคงที่ 0.2C (440 mA) ถึงแรงดันปล่อยประจุสุดท้าย 3 V)



รูปที่ 12 การคงสภาพประจุสำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟสที่อุณหภูมิ 25 และ 30 °C เมื่อทำการปล่อยประจุหลังจากเก็บไว้ตามระยะเวลาต่างๆ (Charge: ที่กระแสและแรงดันคงที่, 3.6 V, 1500 mA, 3 ชั่วโมง, Discharge: ที่กระแสคงที่ 0.2C (460 mA) ถึงแรงดันปล่อยประจุสุดท้าย 1.6 V)



รูปที่ 13 การฟื้นประจุสำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟสที่อุณหภูมิ 25 และ 30 °C เมื่อทำการปล่อยประจุหลังจากเก็บไว้ตามระยะเวลาต่างๆ (Charge: ที่กระแสและแรงดันคงที่, 3.6 V, 1500 mA, 3 ชั่วโมง, Discharge: ที่กระแสคงที่ 0.2 C (460 mA) ถึงแรงดันปล่อยประจุสุดท้าย 1.6 V)



รูปที่ 14 เปอร์เซ็นต์ความจุไฟฟ้าต่อราคาของแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์และลิเทียมไอออนฟอสเฟตที่กระแสปล่อยประจุต่างๆ กัน

4.3 คุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพต่อราคาของแบตเตอรี่แต่ละชนิด

แบตเตอรี่ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มีความจุไฟฟ้าและราคาที่แตกต่างกันดังนั้นเพื่อเป็นศึกษาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ได้การเปรียบเทียบความจุไฟฟ้าต่อราคา (Ah/price) ของแบตเตอรี่ทั้งสองชนิด ($LiCoO_2$ ราคา 310 บาท[a] $LiFePO_4$ 267 บาท[b]) ที่กระแสปล่อยกระจุต่างๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 14 เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์พบว่าแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟตโดยมีค่าสูงที่สุดโดยมีค่ามากกว่าความจุไฟฟ้าที่ระบุต่อราคาถึง 107.25% ที่กระแสปล่อยประจุ 0.1C (0.23 A) และมีค่าความจุไฟฟ้าต่อราคาลดลงตามกระแสปล่อยประจุที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มกระแสไฟฟ้าปล่อยประจุจะทำให้ได้ความจุไฟฟ้าที่ลดลง ในขณะที่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์มีค่าความจุไฟฟ้าต่อราคาน้อยกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตที่ทุกๆ กระแสไฟฟ้าปล่อยประจุ เนื่องจากเมื่อพิจารณาถึงความจุไฟฟ้าแล้วพบว่าลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์นั้นมีค่าน้อยกว่าลิเทียมไอออนฟอสเฟต นอกจากนั้นยังมีราคาในท้องตลาดที่สูงกว่าอีกด้วย

[a] $LiCoO_2$ ราคาจาก Great Power Battery (Zhuhai) Co., Ltd

[b] $LiFePO_4$ ราคาจาก www.hobbythai.com

5. สรุป

จากการทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดทั้งลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์และลิเทียมไอออนฟอสเฟตสามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าทั้งกระแสไฟฟ้าประจุ (Charge Current) และกระแสไฟฟ้าปล่อยประจุ (Discharge Current) มีผลต่อประสิทธิภาพและความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่
2. แบตเตอรี่ทั้ง 2 ชนิดมีการปล่อยประจุไฟฟ้าได้เองเมื่อเก็บไว้ที่ระยะเวลาต่างๆ กันทำให้ความจุไฟฟ้าในตัวของแบตเตอรี่นั้นลดลง โดยยิ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงมากขึ้น เป็นการช่วยเร่งให้แบตเตอรี่นั้นมีการคายประจุที่มากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นควรเก็บรักษาแบตเตอรี่ที่ประจำไฟฟ้าเต็มที่แล้วไว้ในที่มีอากาศเย็น
3. แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟตประสิทธิภาพดีกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ เช่น มีแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ระหว่างการปล่อยประจุมีค่าที่ค่อนข้างคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันระหว่างการปล่อยประจุของแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ที่มีค่าตกลงอย่างเห็นได้ชัด และการคงสภาพประจุและการฟื้นประจุของลิเทียมไอออนฟอสเฟตมีค่าที่คงที่กว่า
4. ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตมีค่ามากกว่าของลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรม รหัสโครงการ MT-B-52-END-07-073-I จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2552 คณะผู้วิจัยจึงต้องขอขอบคุณศูนย์ ฯ มา ณ โอกาสนี้ด้วย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] BatteryUniverity.com, http://www.batteryuniversity.com/partone-12.htm access 1 Dec 2009.

[2] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเซลล์และแบตเตอรี่ทุติยภูมิที่มีอิเล็กโทรไลต์แอลคาไลน์หรือมีอิเล็กโทรไลต์อื่นที่ไม่ใช่กรด-เซลล์และแบตเตอรี่ทุติยภูมิระบบลิเทียมสำหรับการใช้งานแบบพกพา (มอก. 2215-2548)

[3] Linder, D. and Reddy, B. T. (1995) “Handbook of batteries” McGraw-Hill, 3rd Edition, pp.35.1-35.94.