การอัดประจุถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีส

Recharging an Alkaline Manganese Battery

ชาญชัย ภูริปัญโญ * • ภรณี วรรณศิริ **

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันได้มีการใช้ถ่านไฟกันอย่างแพร่หลาย โดยถ่านไฟนี้มีทั้งถ่านไฟที่เป็นแบบปฐมภูมิและทุติยภูมิ ถ่านไฟประเภทแรกเป็นถ่านไฟที่ใช้งานได้เพียงครั้งเดียว ส่วนถ่านไฟประเภทหลังเป็นถ่านไฟที่สามารถอัดประจุใหม่ได้ ถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีสจัดเป็นถ่านไฟแบบปฐมภูมิที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นที่นิยมใช้ แต่มีราคาสูงกว่าถ่านไฟปฐมภูมิแบบอื่นๆ

จุดประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้ เพื่อหาวิธีการอัดประจุถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีส เพื่อนำถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีสกลับมาใช้งานใหม่ จนกระทั่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก

ข้อมูลที่ทดสอบในงานวิจัยฉบับนี้คือ รูปแบบของสัญญาณการอัดประจุที่เหมาะสมเพื่ออัดประจุถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีสอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วงเวลาและภาวะที่เหมาะสมในการอัดประจุ รวมทั้งจำนวนครั้งที่เหมาะสมในการอัดประจุถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีส

ผลการทดสอบที่ได้ปรากฏว่าการใช้วิธีการอัดประจุอย่างเร็วภายใต้การควบคุมของคอมพิวเตอร์สามารถลดเวลาการอัดประจุได้ระหว่าง 5-9 เท่า คือช่วงเวลาในการอัดประจุจะอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 1 ถึง 2 ชั่วโมงครึ่ง ระยะเวลาการใช้งานในวงจรทดสอบทั้งหมดประมาณ 13 ชั่วโมงครึ่ง (โดยที่ช่วงเวลาที่ใช้งานเบื้องต้นก่อนที่จะมีการอัดประจุอยู่ที่ประมาณ 4 ชั่วโมงครึ่ง) นอกจากนี้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุอยู่ที่ประมาณ 1.0 โวลต์ (ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้านี้อยู่ต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้า 1.1 โวลต์ที่ทางผู้ผลิตเครื่องอัดประจุถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีสแบบอื่น ๆ)

Abstract

Using batteries were way of life. The batteries could be classified into "Primary cell" and "Secondary cell". The former was a one-time usage type battery, the latter was a rechargeable one. Alkaline Manganese battery was classified as a primary cell battery. The performance of this battery was far better than ordinary primary battery but one main set back was the price.

The objective of this research was to find an effective way to reuse the Alkaline Manganese battery by recharging them. The recharging process continued as long as the process was still effective. There was a limit to the number of times to recharge the Alkaline Manganese battery.

* *ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิชาการและรักษาการหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม*

** *หัวหน้าภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม*

This research coverd the following topics: format of the rechargeable signal which was suitable for the Alkaline Manganese batteries, rechargeable interval and the number of times which was appropriate to recharge the above batteries.

The result of this research indicated that when using the computer to control the rapid charging process, it reduced the recharging process by at least 5-9 times. The typical recharging time was between 1 to 2(1/2) hours. The typical usage time was approximately 13(1/2) hours (the first usage time before any recharge was at 4(1/2) hours). Beside the above improvement, the initial recharge voltage was set at 1.0 volt (this recharge voltage was lower than the 1.1 volts which was recommended by those manufacturers who manufactured the alkaline rechargeable units).

คำนำ

ในปัจจุบันมีการใช้ถ่านไฟกันอย่างแพร่หลาย ประมาณว่ามีการใช้ถ่านไฟชนิดต่าง ๆ ภายในประเทศไทยปีละประมาณ 400 ล้านก้อนต่อปีคือ โดยเฉลี่ยคนไทยจะใช้ถ่านไฟกัน 6.6 ก้อนต่อคนต่อปี ทำให้สูญเสียเงินตราต่างประเทศเป็นจำนวนมากทุกปี และยังเกิดภาวะมลพิษอันเกิดจากถ่านไฟที่หมดสภาพการใช้งานข้างต้น หากไม่มีการดำเนินการที่เหมาะสมจะเป็นปัญหาเรื้อรังสำหรับคนไทยทุกคนได้ในอนาคตอันใกล้นี้ ปัญหานี้ไม่ได้เกิดเฉพาะในประเทศไทย แต่เป็นปัญหาของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกด้วย

ถ่านไฟข้างต้นสามารถสรุปรวมกันได้เป็นถ่านไฟ 2 ประเภท คือ ถ่านไฟที่อัดประจุไฟใหม่ได้หลังจากที่มีการใช้งาน (rechargeable batteries) (เช่นถ่านไฟ Ni-Cd ถ่านไฟ nickle meta-hydride ฯลฯ) และถ่านไฟที่ใช้ได้เพียงครั้งเดียว (nonrechargeable batteries) (เช่น ถ่านไฟคาร์บอนสังกะสี ถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีส ฯลฯ)

ในราวปี ค.ศ. 1993 ได้มีการผลิตเครื่องอัดประจุถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีสออกมาจำหน่ายเป็นครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกา ผู้ใช้สามารถที่จะนำถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีสกลับมาใช้งานได้เป็นจำนวน 7-8 ครั้ง เวลาเฉลี่ยในการอัดประจุถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีสมีค่าประมาณ 10-12 ชั่วโมง และถ่านไฟที่ถูกอัดประจุใหม่จะมีประสิทธิภาพลดลงตามลำดับ การอัดประจุข้างต้นนับเป็นส่วนหนึ่งของความพยายามที่จะนำถ่านไฟอัลคาไลน์กลับมาใช้ใหม่

การวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อลดช่วงเวลาที่ใช้ในการอัดประจุถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีสให้อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้ และเป็นการอัดประจุที่ปลอดภัย สำหรับวิธีการที่ใช้จะเป็นการอัดประจุถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีส โดยใช้วิธีการอัดประจุทีละน้อย (Trickle charge) และการอัดประจุอย่างเร็ว(Fast charge)

ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับถ่านไฟ

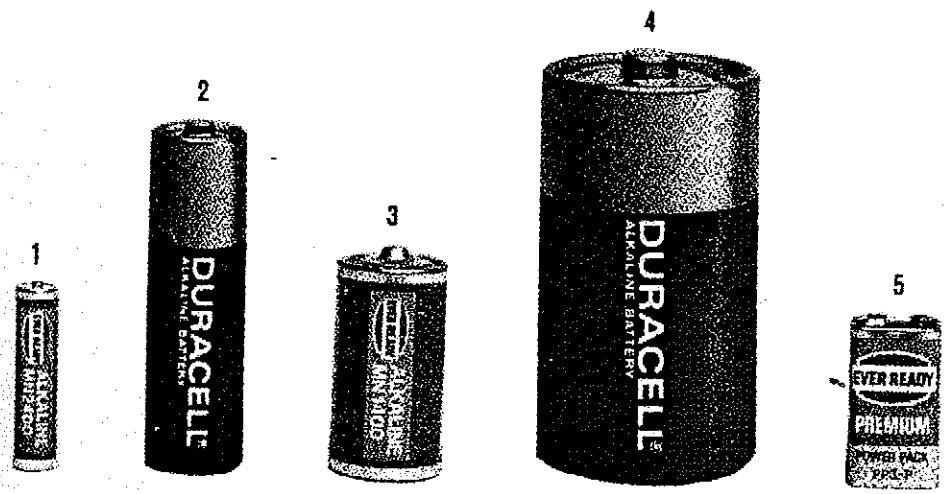
ถ่านไฟทั่ว ๆ ไปแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ถ่านไฟประเภทปฐมภูมิ (Primary cell) และถ่านไฟประเภททุติยภูมิ (Secondary cell) โดยที่

1. ถ่านไฟประเภทปฐมภูมิ เป็นถ่านไฟหลังจากการทำขึ้นก็สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาได้ทันที เมื่อมีการใช้งานไปแล้วส่วนประกอบบางส่วนจะหมด

เปลี่องไปโดยไม่กลับมาเป็นสภาพเดิมได้อีก ถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีสจัดอยู่ในถ่านไฟประเภทนี้

2. **ถ่านไฟประเภททุติยภูมิ** ถ่านไฟประเภทนี้ต้องมีการอัดประจุก่อนที่จะนำมาใช้ได้ เมื่อใช้ไปได้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง (หรือเมื่อหมดประจุแล้ว) ถ่านไฟประเภทนี้สามารถนำกลับมาอัดประจุเพื่อใช้งานใหม่ได้อีก จำนวนครั้งที่นำมาอัดประจุใหม่จะขึ้นอยู่กับชนิดของถ่านไฟทุติยภูมินั้น ๆ

ถ่านไฟที่ผลิต (ไม่ว่าจะเป็นประเภทปฐมภูมิหรือทุติยภูมิ) มีมากมายหลายชนิดตามแต่ประเภทการใช้งาน ถ่านไฟส่วนใหญ่ที่ผลิตกันอยู่มี 5 ชนิดคือ AAA, AA, C, D และชนิด 9 โวลต์ ภาพประกอบ 1 แสดงถ่านไฟชนิดต่าง ๆ ข้างต้น โดยที่หมายเลข 1 ถึง 5 เป็นถ่านไฟขนาด AAA AA C D และ 9 โวลต์ตามลำดับ



ภาพประกอบ 1 ตัวอย่างและขนาดของถ่านไฟที่ผลิตกันในปัจจุบัน
ที่มา : สว่าง ประกายรุ้งทอง. "แบตเตอรี่ขอแนะนำตัวเองครับ" เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับพิเศษ. 2538 บริษัทซีเอ็ด

ความจุของถ่านไฟจะถูกกำหนดค่าในหน่วยของแอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-hours (Ah)) หรือเป็นมิลลิแอมแปร์-ชั่วโมง (milliamp-hours (mAh)) ค่านี้เป็นค่าที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้ให้กับถ่านไฟที่ได้ผลิตขึ้นยกตัวอย่างเช่น ถ่านไฟชนิดหนึ่งมีขนาดความจุเท่ากับ 2850 มิลลิแอมแปร์-ชั่วโมง เมื่อนำมาใช้งานโดยให้มีการจ่ายกระแสที่ค่าคงที่เท่ากับ 100 มิลลิแอมแปร์ ถ่านไฟดังกล่าวข้างต้นจะใช้ในภาวะที่กำหนดได้ประมาณ 28.5 ชั่วโมง กล่าวคือ จำนวนช่วงเวลาที่ใช้งานจะแปรผกผันกับขนาดของกระแสที่จ่ายออกมา คือถ้ามีการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมามาก ช่วงเวลาที่ใช้งานจะน้อยลง แต่ถ้ามีการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาน้อยช่วงเวลาที่ใช้งานจะมีมากขึ้นแทน นอกจากนี้ช่วงเวลาการจ่ายกระแสไฟข้างต้นยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของโหลด (load) ที่มาต่อด้วย สำหรับโหลดที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นโหลดที่เป็นความต้านทาน

โครงสร้างและการทำงานของถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีส

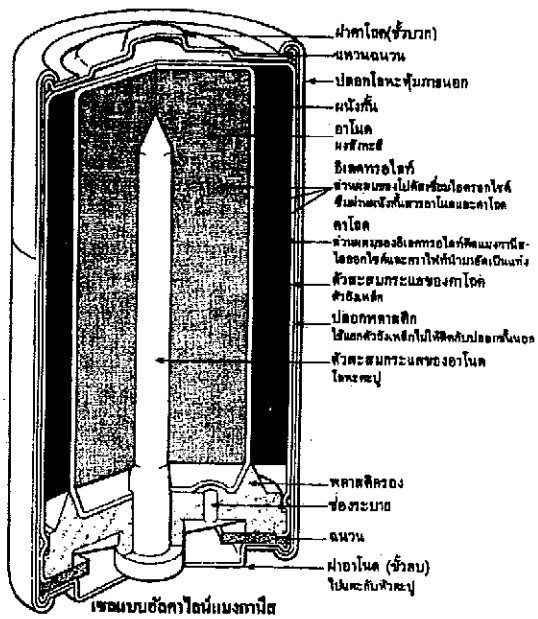
ตัวอย่างสารที่ใช้ทำขั้วอาโนดและคาโถดใช้

สังกะสี (Zinc (Zn)) และสารแมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese dioxide (MnO_2)) ตามลำดับ ขั้วอาโนดประกอบด้วยผงสังกะสีซึ่งทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวที่ใช้งานให้มากขึ้น ผงสังกะสีนี้จะรวมกับสารอิเล็คโทรไลท์รวมกันอยู่ในลักษณะของเหลวข้น ๆ ขั้วคาโถดของถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีสทำมาจากสารบริสุทธิ์ที่เรียกว่าสารอิเล็คโทรไลท์แมงกานีสไดออกไซด์ (electrolyte manganese dioxide) สารนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้จุออกซิเจนได้มากขึ้น สารอิเล็คโทรไลท์ที่ใช้เป็นอัลคาไลน์ (สารที่ใช้นี้มีส่วนผสมของโปรตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide)) เป็นสารมีค่าความนำไฟฟ้าสูงมาก

โครงสร้างข้างต้นทำให้ถ่านไฟชนิดนี้เหมาะสำหรับงานหนักที่ต้องการกระแสสูง เป็นถ่านไฟที่มีคุณภาพสูง มีค่าความต้านทานภายในที่ต่ำและมีค่าความจุพลังงานมาก ภาพประกอบ 2 เป็นภาพประกอบที่แสดงตัวอย่างโครงสร้างภายในของถ่านไฟแบบอัลคาไลน์แมงกานีส

ส่วนที่เป็นขั้วอาโนดของถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีส เป็นส่วนที่อยู่ภายใน (ลักษณะเป็นแท่งโลหะอยู่ส่วนใจกลางของถ่านไฟ) ส่วนที่เป็นขั้วคาโถดจะเป็นส่วนที่หุ้มอยู่ภายนอก ตัวถังที่ใช้บรรจุทำจากเหล็ก (เพื่อไม่ให้ส่วนของตัวถังเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาใช้งานจนทำให้มีการผุพังของตัวถังถ่านไฟเมื่อมีการใช้ไปนาน ๆ) ตัวถังเหล็กนี้เพิ่มความแข็งแรงและป้องกันการรั่วไหลของส่วนผสมภายในถ่านไฟ

แท่งโลหะปลายแหลมที่อยู่ตรงกลาง (ของถ่านไฟในภาพประกอบ 2) ทำหน้าที่เป็นตัวสะสมประจุจะต่อโดยตรงกับขั้วอาโนดของถ่านไฟแรงเคลื่อนไฟฟ้าภายในถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีสนี้ใช้โลหะและออกไซด์ของโลหะชนิดเดียวกันมาทำเป็นขั้วอาโนดและคาโถด ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าปกติของถ่านไฟชนิดนี้เท่ากับ 1.5 โวลต์



ภาพประกอบ 2 ตัวอย่างโครงสร้างภายในของถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีส
***ที่มา** : สว่าง ประกายรุ้งทอง. "แบตเตอรี่ขอแนะนำตัวเองครับ" เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับพิเศษ. 2538 บริษัทซีเอ็ด*

การอัดประจุใหม่ของถ่านไฟแบบทุติยภูมิ

การอัดประจุใหม่ของถ่านไฟทุติยภูมิที่กระทำอยู่ในปัจจุบันทำอยู่ 3 วิธี คือ

- การอัดประจุทีละน้อย (Trickle charge) เป็นการอัดประจุแบบทีละเล็กทีละน้อย โดยการควบคุมขนาดของกระแสไฟที่ใช้ในการอัดประจุใหม่ให้กับถ่านไฟให้อยู่ที่อัตราคงที่ที่ค่า C/10 (คือที่ 10% ของความจุ (Capacity (C) ของถ่านไฟ)) ไปเรื่อย ๆ ทำให้ถ่านไฟที่หมดประจุอย่างสมบูรณ์สามารถอัดประจุเสร็จสิ้นภายในช่วงเวลาประมาณ 12-14 ชั่วโมง

- การอัดประจุใหม่อย่างเร็ว (Fast charge) เป็นการอัดประจุด้วยอัตราที่สูงกว่าการอัดประจุในแบบแรก อัตราที่ใช้ในการอัดประจุอยู่ระหว่าง C/5 (20% ของความจุ) ถึง C/3 (33% ของความจุ) มีการตัดประจุเมื่อถ่านไฟได้รับการประจุจนเต็มที่แล้ว ทำให้ต้องมีวงจรตรวจจับแรงดันของถ่านไฟในขณะที่มีอัดประจุอยู่ตลอดเวลา เมื่อแรงดันไฟฟ้าถ่านไฟถึงขีดกำหนดที่ได้ตั้งเอาไว้ วงจรนี้จะตัดกระแสที่ใช้ในการอัดประจุใหม่ออกเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับถ่านไฟที่ถูกอัดประจุอยู่

- การอัดประจุใหม่อย่างเร่งด่วน (Super-fast charge) เป็นการอัดประจุที่ใช้อัตราการอัดประจุที่ 4C (4 เท่าของความจุ) หรือมากกว่า ถึงแม้ว่าช่วงระยะเวลาในการอัดประจุแบบนี้จะสั้นมากประมาณ 2 ถึง 3 นาที แต่การอัดประจุที่ทำต้องการความปลอดภัยที่สูงมาก ทั้งนี้เพื่อป้องกันการรั่วหรือระเบิดของถ่านไฟในกรณีที่มีการอัดประจุมากเกินไป

การทดสอบถ่านไฟ

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิจัยกับถ่านไฟชนิดต่าง ๆ (Duracell, Energizer, Panasonic, AIKO, Sony และ Maxell ขนาด AA จำนวนรวมกันทั้งสิ้นประมาณ 130 ตัวอย่าง) โดยที่การวิจัยมีหลักการดังนี้:

การอัดประจุทีละน้อย ซึ่งเป็นแบบที่เครื่องอัดประจุถ่านไฟอัลคาไลน์ใช้กันอยู่ ในการวิจัยได้มีการสร้างวงจรที่สามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับถ่านไฟ โดยที่ในการทดสอบแต่ละครั้งจะมี

- ในขณะที่มีการอัดประจุ แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับถ่านไฟจะถูกเพิ่มขึ้นทีละน้อยจนกระทั่งถึงแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดจึงจะสิ้นสุดการอัดประจุนั้น ๆ

- ในการทดสอบแต่ละครั้งจะกำหนดค่า duty cycle (คือเลือกค่าตั้งแต่ 10% จนถึง 90%) ให้กับสัญญาณที่ใช้อัดประจุให้กับถ่านไฟ

- ทำการทดสอบในภาวะข้างต้นกับถ่านไฟจำนวน 2 ก้อนเป็นอย่างน้อย

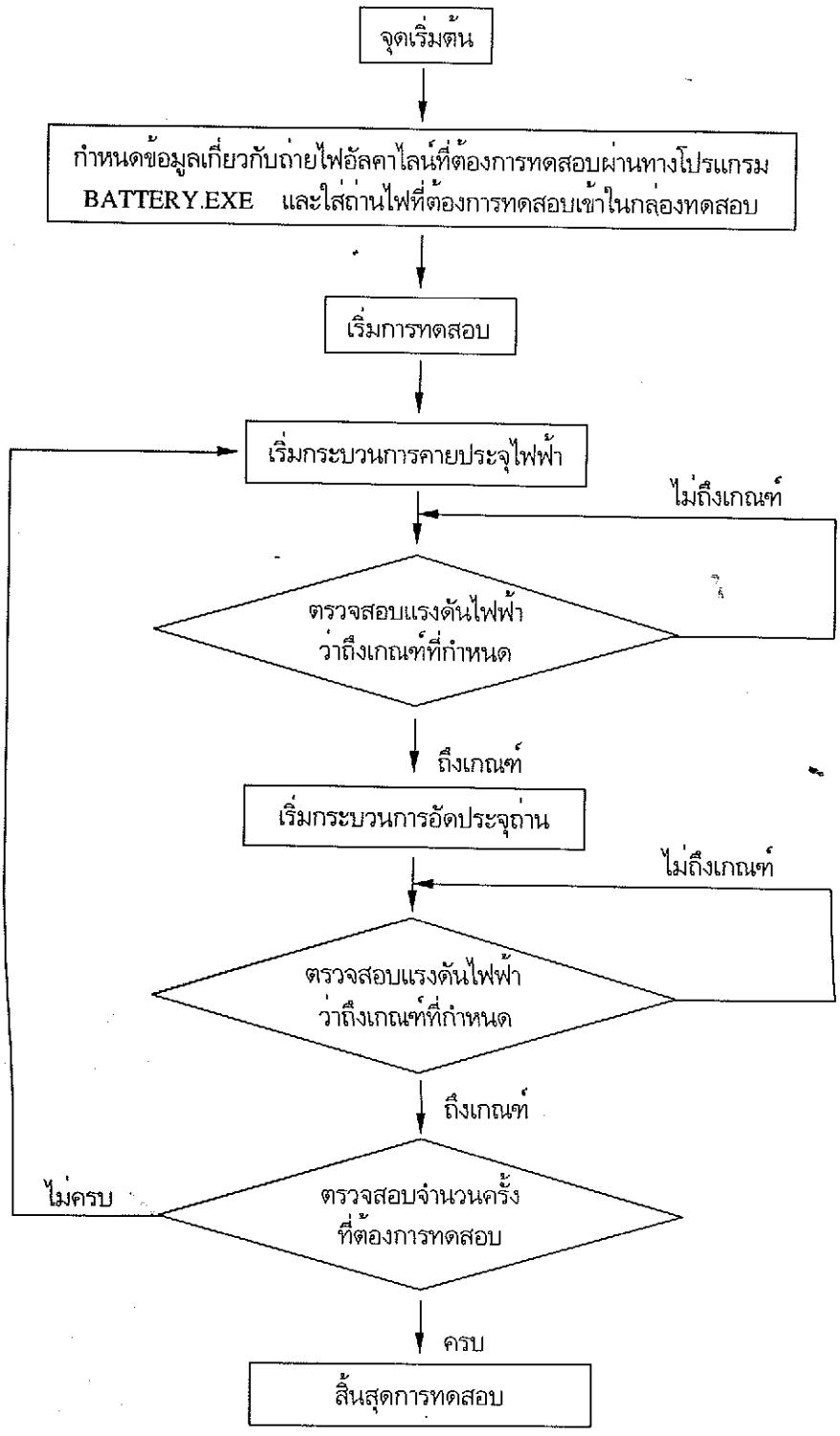
การอัดประจุอย่างเร็ว เป็นการอัดประจุที่ไม่มีการแปรเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าในขณะที่มีการอัดประจุ โดยที่การอัดประจุยังใช้สัญญาณพัลส์ตามเดิม ข้อที่แตกต่างกันคือกระแสที่ใช้ในการอัดประจุและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุจะสูงกว่า

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

การทดสอบในแต่ละครั้งจะได้ไฟล์ที่มีข้อมูลที่มีขนาดแตกต่างกันออกไป โดยที่ในกรณีของการอัดประจุแบบทีละน้อยจะได้ไฟล์ที่มีขนาดประมาณ 450,000 ไบต์ สำหรับในกรณีของการอัดประจุอย่างเร็วจะได้ไฟล์ที่มีขนาดประมาณ 60,000 จนถึง 100,000 ไบต์

ส่วนช่วงเวลาที่ใช้ในการทดสอบแต่ละครั้งจะมีการแปรเปลี่ยนมากสำหรับในการอัดประจุแบบทีละน้อย ซึ่งปกติจะใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 3 วัน แต่สำหรับการอัดประจุอย่างเร็วจะใช้เวลาประมาณ 26 ชั่วโมง ทั้งสองการทดสอบจะมีการคายประจุและอัดประจุถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีสติดต่อกัน 7 ครั้ง

ในการอัดประจุแบบทีละน้อย ผลที่ได้อยู่ในระดับเดียวกับเครื่องอัดประจุถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีสที่จำหน่ายในท้องตลาด



ภาพประกอบ 3 เป็นขั้นตอนในการทดสอบถ่านไฟในงานวิจัย

ในการอัดประจุอย่างเร็ว ข้อมูลที่ได้แสดงว่าการอัดประจุใหม่ให้กับถ่านไฟอัลคาไลน์สามารถกระทำได้ในระดับหนึ่ง คือข้อมูลที่ได้แสดงว่าการอัดประจุแบบนี้สามารถนำเอาถ่านอัลคาไลน์กลับมาใช้งานใหม่อีกประมาณ 200% (เวลาเฉลี่ยของการใช้งานของถ่านไฟอัลคาไลน์จากการทดสอบคือประมาณ 4 ชั่วโมง แต่สามารถยืดอายุการใช้งานทั้งหมดให้เป็น 12 ชั่วโมงได้) และช่วงเวลาที่ใช้ในการอัดประจุอยู่ในช่วงที่น่าจะยอมรับได้ (คือเวลาที่ใช้ในการอัดประจุอยู่ระหว่าง 1 ชั่วโมง 20 นาที จนถึง 2 ชั่วโมง 50 นาที) ซึ่งเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในการอัดประจุถ่านไฟอัลคาไลน์ที่ใช้กันอยู่ (ประมาณ 10 ถึง 12 ชั่วโมง) การอัดประจุอย่างเร็วจะใช้เวลาน้อยกว่า 5 ถึง 9 เท่าตัว ให้ดูตัวอย่างข้อมูลในตาราง 1 และในรูปกราฟในภาพประกอบ 4

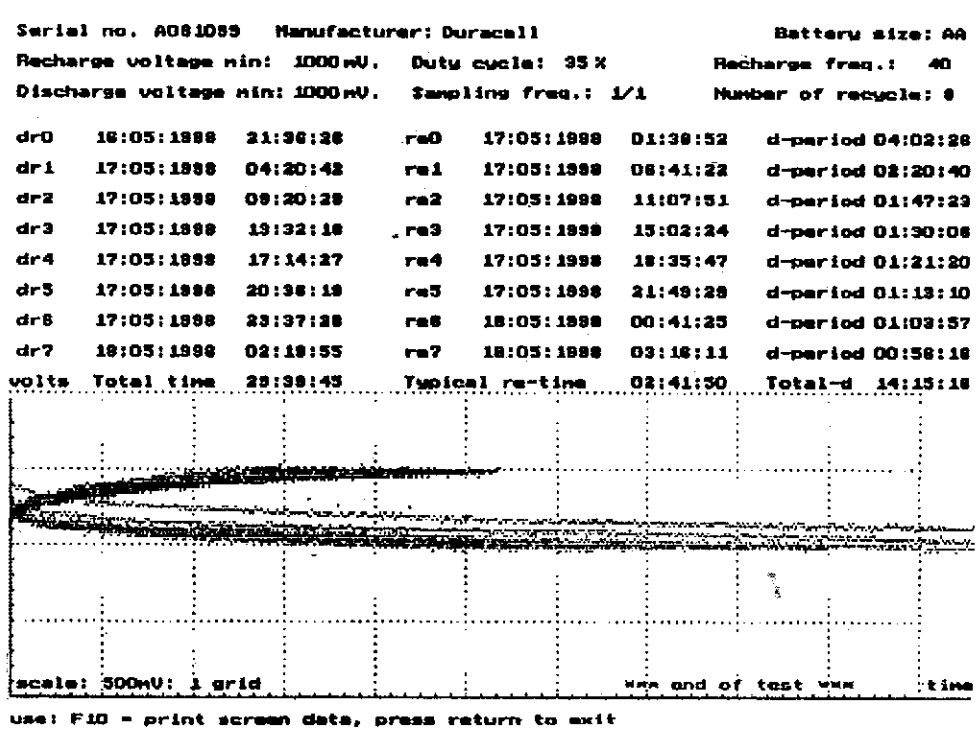
ตาราง 1 ตัวอย่างสรุปข้อมูลเมื่อทดสอบถ่านไฟ Duracell-A081099 (อัดประจุอย่างเร็ว) เริ่มต้นการ recharge ที่แรงดันไฟฟ้า 1.0 โวลต์ โดยมีความถี่ของการ recharge ที่ 40 เฮิรตซ์ duty cycle 35%

Summary of test data **เลขหมายตัวอย่าง A081099**

	Date	Time	Period
Discharge 1 starts :	16:05:1998	21:36:26	Duration : 04:02:26
Recharge 1 starts :	17:05:1998	01:38:52	Duration : 02:41:50
Discharge 2 starts :	17:05:1998	04:20:42	Duration : 02:20:40
Recharge 2 starts :	17:05:1998	06:41:22	Duration : 02:39:06
Discharge 3 starts :	17:05:1998	09:20:28	Duration : 01:47:23
Recharge 3 starts :	17:05:1998	11:07:51	Duration : 02:24:27
Discharge 4 starts :	17:05:1998	13:32:18	Duration : 01:30:06
Recharge 4 starts :	17:05:1998	15:02:24	Duration : 02:12:03
Discharge 5 starts :	17:05:1998	17:14:27	Duration : 01:21:20
Recharge 5 starts :	17:05:1998	18:35:47	Duration : 02:00:32
Discharge 6 starts :	17:05:1998	20:36:19	Duration : 01:13:10
Recharge 6 starts :	17:05:1998	21:49:29	Duration : 01:47:59
Discharge 7 starts :	17:05:1998	23:37:28	Duration : 01:03:57
Recharge 7 starts :	18:05:1998	00:41:25	Duration : 01:38:30
Discharge 8 starts :	18:05:1998	02:19:55	Duration : 00:56:16
Recharge 8 starts :	18:05:1998	03:16:11	Duration : : :

Typical Recharge Time : 02:41:50

Total Discharge Time : 14:15:18



หมายเหตุ : เส้นกราฟในภาพข้างต้น เป็นเส้นกราฟที่แสดงการอัดประจุและการคายประจุ เส้นกราฟที่ชี้ออกถึงการอัดประจุจะเริ่มต้นที่แรงดันไฟฟ้าที่ 1000 มิลลิโวลต์ และค่านี้จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงแรงดันไฟฟ้าที่ 1500 มิลลิโวลต์ จึงจะเริ่มขบวนการคายประจุใหม่ (อัตราส่วนในการสุ่มข้อมูลของการคายประจุและการอัดประจุไม่เท่ากัน ให้ดูค่าตัวเลขประกอบการพิจารณากราฟ) ส่วนของกราฟที่มีขนาดสั้นกว่าที่อยู่ตอนใต้ของกลุ่มกราฟของการอัดประจุข้างต้น จะเป็นกราฟที่แสดงการคายประจุจากข้อมูลที่ได้จะเห็นว่าค่าที่อยู่ตอจาก d-period แสดงช่วงเวลาที่ใช้ในการคายประจุจากถ่านไฟ ค่าของอัตราการคายประจุลดลงแต่เปลี่ยนแปลงไม่มาก (เริ่มต้นที่ 04:02:26 และต่ำสุดที่ 00:56:18) รวมเวลาที่ได้จากการคายประจุของถ่านไฟเท่ากับ 14:15:18 ชั่วโมง แต่การคายประจุครั้งแรกมีค่าเท่ากับ 04:02:26 ชั่วโมง ทำให้ส่วนของการคายประจุในครั้งต่อ ๆ ไปรวมกันมีค่าเท่ากับ 10:12:52 ชั่วโมง ส่วนเวลาที่ใช้ในการอัดประจุในแต่ละครั้งจะลดลงเรื่อยๆ (จาก 02:41:50 - 01:38:30) จำนวน 8 ครั้ง คาดว่าจะสามารถใช้ต่อไปได้อีก ทั้งนี้เพราะการคายประจุสุดท้ายยังอยู่ที่ 00:56:16 ชั่วโมง

ภาพประกอบ 4 ตัวอย่างข้อมูลเมื่อทดสอบถ่านไฟ Duracell-A081099 (อัดประจุอย่างเร็ว)

สรุปงานวิจัย

ผลที่ได้จากการวิจัยนี้สนับสนุนแนวความคิดของการนำเอาถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีสมาอัดประจุทีละน้อยเพื่อนำมาใช้งานใหม่ว่าสามารถกระทำได้ ส่วนการอัดประจุอย่างเร็วของถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีสก็สามารถกระทำได้เช่นกันและประสิทธิภาพที่ได้สามารถทำได้ในระดับเดียวกันกับการอัดประจุแบบทีละน้อยอย่างที่มีใช้กันในท้องตลาดในปัจจุบัน แต่ช่วงเวลาที่ใช้ในการอัดประจุน้อยลงกว่าเดิมประมาณ 5 ถึง 9 เท่า (คือช่วงเวลาในการอัดประจุจะอยู่ในช่วง

เวลาประมาณ 1 ถึง 2 ชั่วโมงครึ่ง ระยะเวลาการใช้งานทั้งหมดประมาณ 13 ชั่วโมงครึ่ง (โดยที่ช่วงเวลาที่ใช้งานเบื้องต้นก่อนที่จะมีการอัดประจุอยู่ที่ประมาณ 4 ชั่วโมงครึ่ง) นอกจากนี้ระดับแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นที่ใช้ในการอัดประจุอยู่ที่ประมาณ 1.0 โวลต์ (ซึ่งเป็นค่าแรงดันไฟฟ้านี้อยู่ต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้า 1.1 โวลต์ที่ทางผู้ผลิตเครื่องอัดประจุอัลคาไลน์แมงกานีสแบบอื่น ๆ)

ถึงแม้ว่าการวิจัยนี้มีแนวโน้มว่าการนำเอาถ่านไฟมาอัดประจุใหม่สามารถกระทำได้ แต่ควรพิจารณาผลดีผลเสียต่าง ๆ ประกอบด้วย ซึ่งผลดีเห็นได้อย่างชัดเจนคืออาจจะนำถ่านไฟข้างต้นมา recycle ใหม่ได้ เป็นการประหยัดทรัพยากรธรรมชาติที่ต้องนำมาใช้ในการผลิตถ่านไฟเป็นการลดมลพิษที่เกิดจากถ่านไฟที่หมดอายุการใช้งานเนื่องจากมีการใช้ถ่านไฟน้อยลง แต่สิ่งที่ควรจะระวังคือพลังงานที่นำมาใช้ในการ recycle ถ่านไฟข้างต้นจะต้องถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพและเท่าที่จะเป็นจริง ๆ ไม่ใช่เป็นการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นเพียงเพื่อจะนำมา recycle ถ่านไฟเท่านั้น ต้องคำนึงถึงต้นทุนต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบมาเป็นเครื่องตัดสินด้วยว่าควรจะใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เพื่อมา recycle ถ่านไฟหรือควรจะนำพลังงานไฟฟ้าข้างต้นมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ แทน

ข้อเสนอแนะของงานวิจัย

การทดสอบในงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบที่มองถ่านไฟอัลคาไลน์แมงกานีสในรูปของ black box คือไม่ได้มีการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในเชิงเคมีของสารประกอบเป็นถ่านไฟข้างต้น ทำให้ไม่สามารถตอบได้ว่าการทดสอบมีผลต่อโครงสร้างภายในของถ่านไฟในรูปใดบ้าง หากสามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในขณะที่มีการทดสอบ และมีการตรวจสอบผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของถ่านไฟที่ถูกกำจัดหลังจากการทดสอบจะทำให้งานวิจัยข้างต้นสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ❐

บรรณานุกรม

กฤษดา ใจเย็น, ไกรวุฒิ เลิศประเสริฐสุด, พรรณี ชะนิด และเศกสิทธิ์ คำชมภู. "เครื่องชุบชีวิตถ่านคาร์บอน-สังกะสี," **ฮอบบี้อิเล็กทรอนิกส์.** 52 : 28-33 ; กันยายน 2538.

สว่าง ประกายรุ้งทอง. "แบตเตอรี่ขอแนะนำตัวเองครับ," **เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ฉบับพิเศษ.** 2538 บริษัทซีเอ็ด.

ปิยวัฒน์ พัฒนาไพบูลย์ และนิอร ดิษฐ์บุญเชิญ. "เครื่องชาร์จถ่านอัตโนมัติ," **โครงงานวิศวกรรมศาสตร์.** ภาควิชาไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีปทุม. 2539.

อรรถนพ พีรชาติ. "เครื่องชาร์จถ่านครอบจักรวาล" **ฮอบบี้อิเล็กทรอนิกส์.** 6: 85-90: 2538 2538 บริษัทซีเอ็ด.

Madhu Siddalingaiah, ID : 909598324.Eg. "AA alkaline battery discharge curve<909974251.Eg.q.html>" <http://www.madsci.org/>