การวิเคราะห์กระแสซีซีเอของแบตเตอรี่รถยนต์: กรณีศึกษาของโฟโมโคแบตเตอรี่

CCA ANALYSIS FOR AN AUTOMOTIVE BATTERY: A CASE STUDY OF FOMOCO BATTERY

เผชิญ จันทร์สา

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: pachern.ja@spu.ac.th

อดุลย์ พัฒนภักดี

หลักสูตรวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: adual.pa@spu.ac.th

ไวทยา ชะฎามล

หลักสูตรวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: vitaya.ch@spulive.net

บทคัดย่อ

แบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่วกรดเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ โดยค่ากระแสซีซีเอ (Cold Cranking Amp :CCA) คือคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของแบตเตอรี่รถยนต์ชนิดนี้ สำหรับแบตเตอรี่รถยนต์ขนาด 12 โวลต์ กระแสซีซีเอคือค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถทำได้ในการจ่ายค่ากระแสไฟฟ้าภายใน 30 วินาที โดยที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่ไม่ลดลงต่ำกว่า 7.2 โวลต์ ที่ศูนย์องศาฟาเรนไฮต์ ค่ากระแสซีซีเอเป็นตัวบ่งชี้ระดับความสามารถในการสตาร์ทรถยนต์ โดยทั่วไปค่ากระแสซีซีเอมีแนวโน้มลดลงตามอายุการใช้งานของแบตเตอรี่รถยนต์ บทความนี้ทำการศึกษาเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสซีซีเอและอายุการใช้งานของโฟโมโคแบตเตอรี่ โดยทำการทดสอบและเก็บข้อมูลที่ศูนย์บริการรถยนต์แห่งหนึ่ง ในช่วงวันที่ 10 สิงหาคม 2563 ถึง 27 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 จำนวน 150 ข้อมูลโดยแบ่งเป็น แบตเตอรี่รหัส DIN60 65 ข้อมูล แบตเตอรี่รหัส DIN68 20 ข้อมูล และแบตเตอรี่รหัส DIN75 65 ข้อมูล จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าค่ากระแสซีซีเอ (CCA: แอมป์) มีความสัมพันธ์กับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่รถยนต์ (T: เดือน) ดังนี้

สำหรับแบตเตอรี่รหัส DIN60 มีค่าความสัมพันธ์เป็น CCA = 810-12T

สำหรับแบตเตอรี่รหัส DIN68 มีค่าความสัมพันธ์เป็น CCA = 1001-18T

สำหรับแบตเตอรี่รหัส DIN75 มีค่าความสัมพันธ์เป็น CCA = 973-18T

คำสำคัญ: แบตเตอรี่รถยนต์ แบบตะกั่วกรด โฟโมโคแบตเตอรี่ กระแสซีซีเอ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่

ABSTRACT

An automotive lead-acid battery is the primary source of electrical energy used in vehicles. The Cold Cranking Amp (CCA) is the most important property of an automotive battery. CCA is a rating used to define a battery's ability to start an engine. The rating refers to the number of amps a 12-volt battery can deliver at 0°F for 30 seconds while maintaining a voltage of at least 7.2 volts. Normally, CCA is decrease with the using life time of a battery. In this study, the relation between the CCA and the life time of the Fomoco Battery is investigated. The amount of DIN60 batts 65 data, DIN68 batts 20 data, DIN75 batts 65 data, had been collected from the car service center during August 10, 2020 –November 27, 2020. The result from the Least square regression analysis show that the relation between the Cold Cranking Amp (CCA: Amp.) and the life time of the Fomoco Battery (T: month) are list below:

For DIN60 Fomoco Batery, the relation is CCA = 810-12T.

For DIN68 Fomoco Batery, the relation is CCA = 1001-18T.

For DIN75 Fomoco Batery, the relation is CCA = 973-18T.

Keywords: Lead-Acid Battery, Fomoco Battery, Cold Cranking Amp (CCA), Life time of Battery

1. บทนำ

แบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่ว-กรดเป็นอุปกรณ์จัดเก็บไฟฟ้าที่ใช้ปฏิกิริยาทางเคมีที่ผันกลับได้ในการจัดเก็บพลังงาน เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟเข้าไปใหม่ได้ แบตเตอรี่รถยนต์มีหน้าที่หลักที่สำคัญที่สุดสำหรับการสตาร์ทรถยนต์ในตอนเริ่มต้น โดยค่ากระแสซีซีเอ (Cold Cranking Amp (CCA) คือ คุณสมบัติที่จำเป็นที่สุดสำหรับการสตาร์ทรถยนต์ กระแสซีซีเอเป็นความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดสำหรับสตาร์ทเครื่องยนต์ทั้งนี้บริษัทผู้ผลิตส่วนใหญ่ไม่ได้มีการระบุค่ากระแสซีซีเอที่แท้จริง กระแสซีซีเอมีค่าเปลี่ยนแปลงตามสถานะการประจุของแบตเตอรี่และการเสื่อมของเซลล์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่รถยนต์ โดยทั่วไปกระแสซีซีเอมีค่าลดลงตามอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

ค่าของกระแสซีซีเอถือเป็นดัชนีชี้วัดของแบตเตอรี่รถยนต์ ที่บริษัทผู้ผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ ค่าของกระแสซีซีเอสำหรับแบตเตอรี่ ใหม่จะขึ้นอยู่กับค่าความจุ (แอมป์-ชั่วโมง: Amp Hours) ของแบตเตอรี่รถยนต์ (วิทวัส ศรีสวัสดิ์กุลและคณะ, 2562) ทั้งนี้ค่าของกระแสกระแสซีซีเอจะมีค่าลดลงเมื่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่รถยนต์มากขึ้นตามสภาวะการเสื่อมสภาพของเซลล์แบตเตอรี่

2. วัตถุประสงค์

(1) เพื่อตรวจวัดค่ากระแสซีซีเอของโฟโมโคแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ ฟอร์ด เรนเจอร์ และ ฟอร์ด เอเวอเรสต์

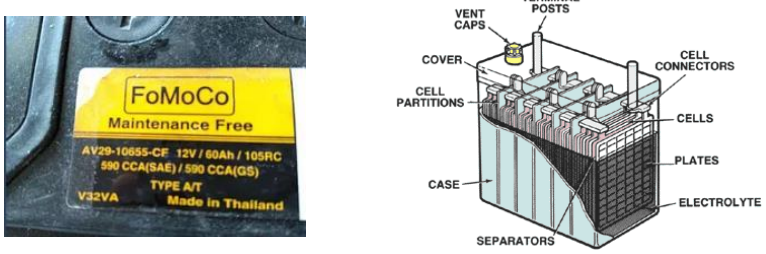
(2) เพื่อประมาณค่าความสัมพันธ์ของค่ากระแสซีซีเอกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่รถยนต์

3. ทฤษฎีและข้อมูลพื้นฐาน

3.1 โฟโมโคแบตเตอรี่ (Fomoco Battery)

โฟโมโคแบตเตอรี่เป็นแบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่ว-กรด ที่ติดตั้งสำหรับรถยนต์ใหม่ของรถยนต์ฟอร์ดจากโรงงานผู้ผลิตโดยตรง (FoMoCo ย่อมาจาก Ford Motor Company) โดยส่วนประกอบหลักของแบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่ว-กรด ประกอบไปด้วย ตัวเรือนแบตเตอรี่ (CASE) ที่ทำจากวัสดุที่เป็นฉนวนและแข็งแรง ภายในบรรจุด้วยเซลล์แบตเตอรี่จำนวน 6 เซลล์ (CELLS) ต่ออนุกรมกัน โดยแต่ละเซลล์จะประกอบไปด้วย แผ่นธาตุบวกที่มีส่วนประกอบเป็นตะกั่วเปอร์ออกไซด์ และแผ่นธาตุลบที่มีส่วนประกอบเป็นตะกั่วบริสุทธิ์หรือตะกั่วพรุน เซลล์แบตเตอรี่ทั้งหมดถูกบรรจุในตัวเรือนแบตเตอรี่ที่มีสารละลาย (ELECTROLITE) อยู่ภายใน และปิดด้วยฝาครอบ (COVER) สำหรับส่วนประกอบที่อยู่เหนือฝาครอบจะประกอบไปด้วยขั้วบวกและขั้วลบ (TERMINAL POSTS) ที่ทำจากแท่งตะกั่วกลม โดยทั่วไปขั้วบวกจะมีขนาดที่โตกว่าขั้วลบ

สำหรับแบตเตอรี่รถยนต์ ชนิดตะกั่ว-กรด จะมีคุณสมบัติสำคัญที่สุดที่จำเป็นสำหรับการสตาร์ทรถยนต์ คือค่ากระแสซีซีเอ (Cold Cranking Amp: CCA) โดยที่กระแสซีซีเอ คือค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ สามารถจ่ายออกได้ ภายในช่วงเวลา 30 วินาที โดยที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะต้องไม่ลดลงต่ำกว่า 7.2 โวลต์ หรือ 1.2 โวลต์ต่อเซลล์ ณ อุณหภูมิศูนย์องศาฟาเรนไฮต์ (James D. Halderman, 2012) ทั้งนี้ค่ากระแสซีซีเอของแบตเตอรี่รถยนต์ ชนิดตะกั่ว-กรด มีแนวโน้มลดลงตามอายุการใช้งานของแบตเตอรี่



รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างของโฟโมโคแบตเตอรี่และส่วนประกอบหลักของแบตเตอรี่รถยนต์
(ที่มา: https://jrsupplyshop.wixsite.com/battery/fomoco และ
http://www.autoshop101.com/trainmodules/batteries/106.html)

3.2 ข้อมูลพื้นฐานของเครื่องยนต์และรถยนต์ที่ใช้ทดสอบ

บริษัทรถยนต์ฟอร์ดเป็นหนึ่งในบริษัทรถยนต์ชั้นนำที่ได้รับการยอมรับจากผู้ใช้งานรถยนต์ทั่วโลก สำหรับประเทศไทยบริษัทรถยนต์ฟอร์ดมีโรงงานการผลิตจำนวน 2 โรงงานคือโรงงานฟอร์ด ไทยแลนด์ แมนูแฟคเจอร์ริ่ง (เอฟทีเอ็ม) สำหรับผลิตรถยนต์นั่งขนาดเล็ก (ฟอร์ดโฟกัส เฟียสต้า เอคโค่สปอร์ต) และโรงงานออโต้ อัลลายแอนซ์ ประเทศไทย (เอเอที) เพื่อผลิตรถกระบะฟอร์ด เรนเจอร์ และรถเอสยูวี ฟอร์ด เอเวอเรสต์ ซึ่งเป็นรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเก็บข้อมูลในครั้งนี้ สำหรับรถยนต์ที่ใช้ เครื่องยนต์ 2.2L XLT จะมีกำลังสูงสุด 160 แรงม้าที่อัตราเร็ว 3200 รอบต่อนาที สำหรับรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ 2.0LTurbo จะมีกำลังสูงสุด 180 แรงม้าที่อัตราเร็ว 3500 รอบต่อนาที และสำหรับรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ 2.0L Bi-Turbo จะมีกำลังสูงสุด 213 แรงม้าที่อัตราเร็ว 3750 รอบต่อนาที

รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างของรถกระบะฟอร์ด เรนเจอร์ และรถเอสยูวี ฟอร์ด เอเวอเรสต์

3.3 การประมาณค่าความสัมพันธ์แบบ Least Square Regression

การประมาณค่าความสัมพันธ์แบบ Least Square Regression เป็นรูปแบบการหาความสัมพันธ์ที่นิยมใช้วิธีหนึ่งเป็นการประมาณค่าสมการที่ไม่จำเป็นต้องผ่านข้อมูลทุกจุด เพียงแต่กำลังสองของค่าความผิดพลาด (error) ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ประมาณขึ้นต้องมีผลรวมน้อยที่สุด โดยการเลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสม (Figliola & Beasley, 2015) ถ้ากำหนดให้ y แทนค่าของข้อมูลแท้จริง และ y_c แทนค่าของข้อมูลจากการประมาณค่า และ D แทนค่าของกำลังสองของค่าความผิดพลาด

$$y_c = a_0 + a_1 x \ + a_2 x^2 + ... + a_m x^m \quad ...(1)$$

$$\mathrm{D}=\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}}\left(y_i - (a_0 + a_1 x \ + a_2 x^2 + ... + a_m x^m\right)^2 \quad ...(2)$$

การประมาณค่าโดยวิธี Least Square Regression ต้องทำให้ D มีค่าน้อยที่สุดนั่นคือ

$$dD=\frac{\partial D}{\partial a_0} da_0 + \frac{\partial D}{\partial a_1} da_1 + \frac{\partial D}{\partial a_2} da_2 + ... + \frac{\partial D}{\partial a_m} da_m = 0 \quad ...(3)$$

สำหรับการประมาณค่าเป็นสมการเส้นตรง $y_c = a_0 + a_1 x$ จากสมการที่ (3) เราได้

$$\frac{\partial D}{\partial a_0} = \frac{\partial}{\partial a_0}\left(\sum_{i=1}^{N}\left(y_i - (a_0 + a_1 x_i\right)^2\right) = -2\sum_{i=1}^{N}\left(y_i - (a_0 + a_1 x_i\right) \ = 0 \quad ...(4)$$

$$\frac{\partial D}{\partial a_1} = \frac{\partial}{\partial a_1}\left(\sum_{i=1}^{N}\left(y_i - (a_0 + a_1 x_i\right)^2\right) = -2\sum_{i=1}^{N}\left(y_i - (a_0 + a_1 x_i)\right) x_i = 0 \quad ...(5)$$

จากสมการที่ (4)และ (5) สามารถหาระบบสมการ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ ได้จากความสัมพันธ์

$$a_0 N + a_1 \sum x_i = \sum y_i \quad ...(6)$$

$$a_0 \sum x_i + a_1 \sum x_i^{\ 2} = \sum x_i y_i \quad ...(7)$$

3.4 เครื่องมือวิเคราะห์แบตเตอรี่

เครื่องมือที่ใช้สำหรับการวัดและวิเคราะห์โฟโมโคแบตเตอรี่ในงานวิจัยนี้ เป็นเครื่องวิเคราะห์แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ยี่ห้อ Midtronics รุ่น MDX-300 ซึ่งมีเครื่องพิมพ์ในตัว โดยสามารถตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากระแสซีซีเอของแบตเตอรี่ได้ตั้งแต่ 100-1400 แอมป์ และรองรับมาตรฐานการทดสอบแบตเตอรี่ได้หลากหลายมาตรฐาน ได้แก่ CCA CA MCA SAE DIN EN IEC และ JIS

4. วิธีการทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 วิธีการทดสอบเก็บข้อมูล

4.1.1 ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์วิเคราะห์แบตเตอรี่เข้ากับแบตเตอรี่ของรถยนต์ โดยต่อสายสีแดงเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ และต่อสายสีดำเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่

รูปที่ 3 แสดงการเชื่อมต่อขั้วแบตเตอรี่กับเครื่องมือวัด

4.1.2 ทำการเลือกแรงดันของแบตเตอรี่ที่จะทำการทดสอบ (โดยเลือกขนาดแรงดันของแบตเตอรี่เป็นขนาด 12V) และทำการเลือกการทดสอบแบตเตอรีแบบไม่ติดเครื่องยนต์

รูปที่ 4 แสดงการระบุขนาดและเลือกรูปแบบการทดสอบแบตเตอรี่

4.1.3 ระบุประเภทของแบตเตอรี่ ซึ่งประเภทที่ทำการทดสอบเป็นแบบปกติ และระบุรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นค่ามาตรฐาน CCA

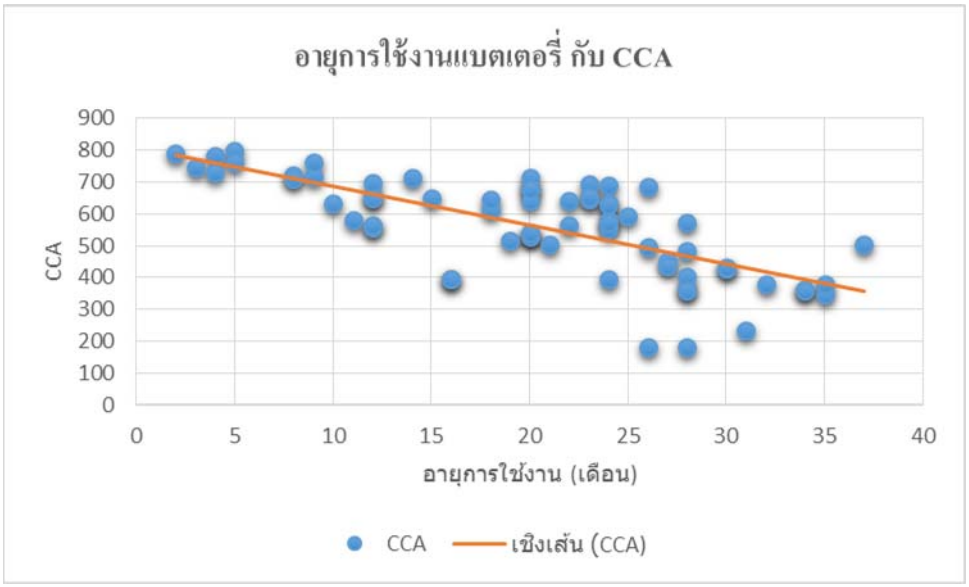
รูปที่ 5 แสดงการเลือกประเภทของแบตเตอรี่และรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1.4 รอเครื่องมือทำการทดสอบและประมวลผลข้อมูล จนกว่าเครื่องจะแสดงผลการทดสอบจึงทำการบันทึกผลการทดสอบ

รูปที่ 6 แสดงการทดสอบและประมวลผลข้อมูลของเครื่องมือวัด

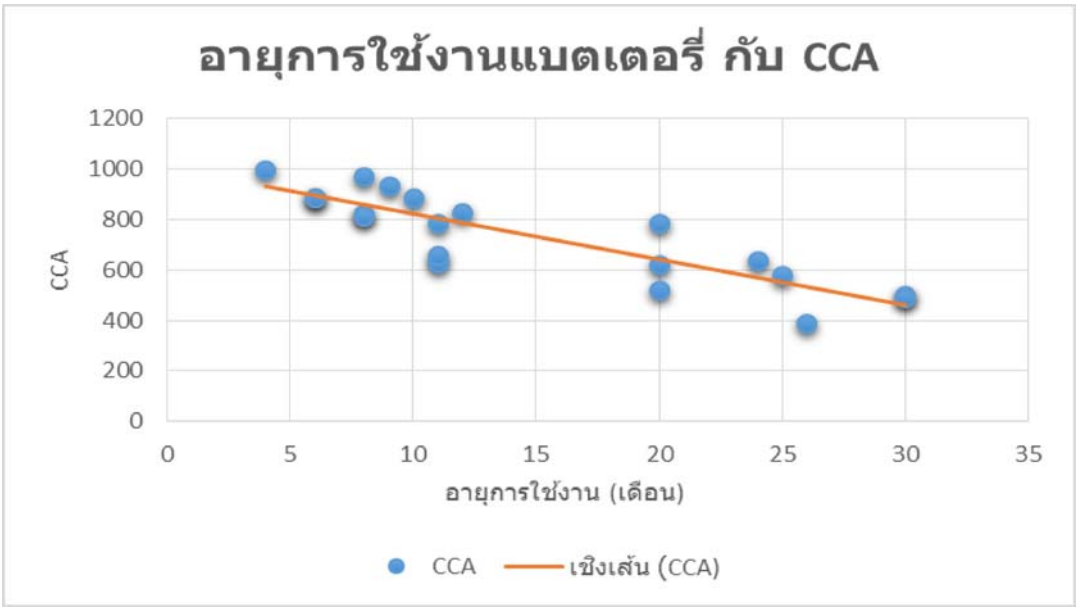
4.2 ผลการทดสอบเก็บข้อมูล

จากการเก็บข้อมูลที่ศูนย์บริการรถยนต์พลปียะ อยุธยา จำกัด ในช่วงวันที่ 10 สิงหาคม 2563 ถึง 27 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 โดยทำการเก็บข้อมูลค่ากระแสซีซีเอ ของโฟโมโคแบตเตอรี่ จำนวน 150 ข้อมูลจากรถกระบะฟอร์ด เรนเจอร์ จำนวน 113 คัน และรถเอสยูวี ฟอร์ด เอเวอเรสต์ จำนวน 37 คัน เมื่อจำแนกตามรุ่นของโฟโมโคแบตเตอรี่พบว่าเป็นเป็น โฟโมโคแบตเตอรี่รหัส DIN60 จำนวน 65 ข้อมูล โฟโมโคแบตเตอรี่รหัส DIN68 จำนวน 20 ข้อมูล และโฟโมโคแบตเตอรี่รหัส DIN75 จำนวน 65 ข้อมูล โดยที่ค่ากระแสซีซีเอของโฟโมโคแบตเตอรี่แต่ละรหัสแสดงดังกราฟในรูปที่ 7-9



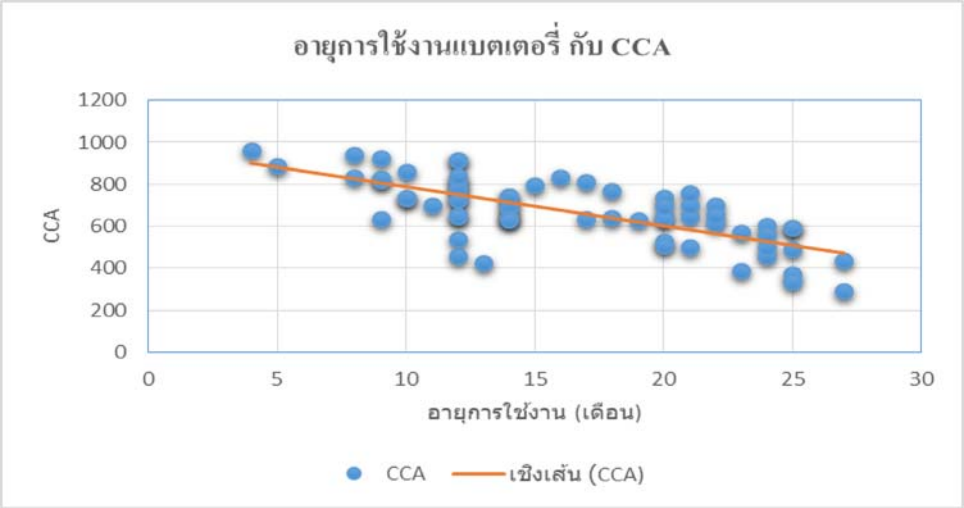
รูปที่ 7 กราฟแสดงค่ากระแสซีซีเอกับอายุการใช้งานของโฟโมโคแบตเตอรี่ รหัส DIN60

พิจารณาจากรูปที่ 7 เป็นข้อมูลของโฟโมโคแบตเตอรี่ รหัส DIN60 จำนวน 65 ข้อมูลมีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ระหว่าง 2-37 เดือน มีค่ากระแสซีซีเอสูงสุดอยู่ที่ 800 แอมป์ มีค่าเฉลี่ยของค่ากระแสซีซีเออยู่ที่ 561.5 แอมป์ และเมื่อทำการประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสซีซีเอ (CCA: แอมป์) กับอายุการใช้งาน (T: เดือน) ของโฟโมโคแบตเตอรี่รหัส DIN60 โดยใช้สมการที่ 6 และ 7 จะได้ความสัมพันธ์เป็น CCA = 810-12T ซึ่งหมายถึงค่ากระแสซีซีเอ (CCA: แอมป์) ก่อนใช้งานเท่ากับ 810 แอมป์ และจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาการใช้งานในอัตรา 12 แอมป์ต่อเดือน



รูปที่ 8 กราฟแสดงค่ากระแสซีซีเอกับอายุการใช้งานของโฟโมโคแบตเตอรี่ รหัส DIN68

พิจารณาจากรูปที่ 8 เป็นข้อมูลของโฟโมโคแบตเตอรี่ รหัส DIN68 จำนวน 20 ข้อมูลมีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ระหว่าง 4-30 เดือน มีค่ากระแสซีซีเอสูงสุดอยู่ที่ 995 แอมป์ มีค่าเฉลี่ยของค่ากระแสซีซีเออยู่ที่ 730.7 แอมป์ และเมื่อทำการประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสซีซีเอ (CCA: แอมป์) กับอายุการใช้งาน (T: เดือน) ของโฟโมโคแบตเตอรี่รหัส DIN68 โดยใช้สมการที่ 6 และ 7 จะได้ความสัมพันธ์เป็น CCA = 1001-18T ซึ่งหมายถึงค่ากระแสซีซีเอ (CCA: แอมป์) ก่อนใช้งานเท่ากับ 1001 แอมป์ และจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาการใช้งานในอัตรา 18 แอมป์ต่อเดือน



รูปที่ 9 กราฟแสดงค่ากระแสซีซีเอกับอายุการใช้งานของโฟโมโคแบตเตอรี่ รหัส DIN75

พิจารณาจากรูปที่ 9 เป็นข้อมูลของโฟโมโคแบตเตอรี่ รหัส DIN75 จำนวน 65 ข้อมูลมีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ระหว่าง 4-27 เดือน มีค่ากระแสซีซีเอสูงสุดอยู่ที่ 963 แอมป์ มีค่าเฉลี่ยของค่ากระแสซีซีเออยู่ที่ 668.9 แอมป์ และเมื่อทำการประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสซีซีเอ (CCA: แอมป์) กับอายุการใช้งาน (T: เดือน) ของโฟโมโคแบตเตอรี่รหัส DIN75 โดยใช้สมการที่ 6 และ 7 จะได้ความสัมพันธ์เป็น CCA = 973-18T ซึ่งหมายถึงค่ากระแสซีซีเอ (CCA: แอมป์) ก่อนใช้งานเท่ากับ 973 แอมป์ และจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาการใช้งานในอัตรา 18 แอมป์ต่อเดือน

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการเก็บข้อมูลของโฟโมโคแบตเตอรี่ จำนวน 150 ข้อมูล จากรถกระบะฟอร์ด เรนเจอร์ จำนวน 113 คัน และรถเอสยูวี ฟอร์ด เอเวอเรสต์ จำนวน 37 คัน เมื่อจำแนกตามรุ่นของโฟโมโคแบตเตอรี่พบว่าเป็นโฟโมโคแบตเตอรี่รหัส DIN60 จำนวน 65 ข้อมูล โฟโมโคแบตเตอรี่รหัส DIN68 จำนวน 20 ข้อมูล และโฟโมโคแบตเตอรี่รหัส DIN75 จำนวน 65 ข้อมูล เมื่อทำการประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสซีซีเอ (CCA: แอมป์) กับอายุการใช้งาน (T: เดือน) ของโฟโมโคแบตเตอรี่ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

สำหรับแบตเตอรี่รหัส DIN60 มีค่าความสัมพันธ์เป็น CCA = 810-12T

สำหรับแบตเตอรี่รหัส DIN68 มีค่าความสัมพันธ์เป็น CCA = 1001-18T

สำหรับแบตเตอรี่รหัส DIN75 มีค่าความสัมพันธ์เป็น CCA = 973-18T

จากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสซีซีเอ (CCA: แอมป์) กับอายุการใช้งาน (T: เดือน) ทำให้เราสามารถประมาณการหาอายุการใช้งานของโฟโมโคแบตเตอรี่ได้ โดยใช้ค่ากระแสซีซีเอ (CCA: แอมป์) เฉลี่ยต่ำสุดที่ศูนย์บริการซ่อมรถยนต์ใช้เป็นเกณฑ์ที่สิบสามเปอร์เซ็นของความจุกระบอกสูบ (0.13*2200= 286 แอมป์) ทั้งนี้เราจะได้อายุการใช้งานของโฟโมโคแบตเตอรี่รหัส DIN 60 อยู่ที่ 43.6 เดือน, อายุการใช้งานของโฟโมโคแบตเตอรี่รหัส DIN 68 อยู่ที่ 39.7 เดือน, และอายุการใช้งานของโฟโมโคแบตเตอรี่รหัส DIN 75 อยู่ที่ 38.2 เดือน

สำหรับการวิเคราะห์ค่ากระแสซีซีเอในครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์ค่ากระแสซีซีเอของโฟโมโคแบตเตอรี่ที่ติดตั้งมากับรถยนต์ใหม่โดยผู้ผลิต (OEM: Original Equipment Manufacturing) ซึ่งผู้ใช้รถยนต์จำเป็นต้องใช้ตามการตัดสินใจและการเลือกของผู้ผลิตรถยนต์ อย่างไรก็ตามผู้ใช้รถยนต์สามารถเลือกซื้อหรือเปลี่ยนแบตเตอรี่สำหรับทดแทนแบตเตอรี่เดิม (REM: Replacement Equipment Manufacturing) เมื่อครบอายุการใช้งาน การวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสซีซีเอกับอายุการใช้งานแบตเตอรี่รถยนต์แบรนด์อื่นๆ ก็จะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการเลือกซื้อหรือเปลี่ยนแบตเตอรี่ของผู้ใช้รถยนต์

6. เอกสารอ้างอิง

วิทวัส ศรีสวัสดิ์กุลและคณะ. (2562). การศึกษาค่ากระแสแครงกิ้งเย็นของแบตเตอรี่รถยนต์ชนิดตะกั่วกรด, *หนังสือประมวลบทความการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 14 ประจำปี 2562*, วันที่ 19 ธันวาคม 2562 ณ มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 2039-2041

Richard S. Figliola & Donald E. Beasley. (2015). *Theory and Design for Mechanical Measurement*, (6th ed.) John Wiley and Sons.

James D. Halderman. (2012). *Automotive Technology; Principles, Diagnosis, and Service*, (4th ed.) Prentice Hall.