การทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของระยะห่างระหว่างแท่งฮีทเตอร์กับผนังระบายความร้อน

Experimental and Analysis of the Distance Effect Between Heater and Wall Hot

สราวุฒิ สิริเกษมสุข*, อนุวัฒน์ บำรุงกิจ, ชัยวัฒน์ คุรุกิจวาณิชย์,มงคล แก้วบำรุง

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิตำบลหันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000
*ติดต่อ: sarawut.sr@rmutsb.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า (EV) ได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และยังคงเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ผู้คนต่างให้ความสนใจ โดยเทคโนโลยีด้านพลังงานที่ใช้นั้นเป็นแบตเตอรี่ก้อนขนาด 18650 ซึ่งต่อวงจรอนุกรม และขนานเป็นโมดูลที่บริเวณพื้นรถยนต์ไฟฟ้า และในการใช้งานที่มีทั้งจังหวะเร่ง หรือการชาร์ตประจุไฟฟ้า ล้วนแต่จะทำให้แบตเตอรี่เกิดความร้อน ซึ่งเป็นการทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสั้นลง และอาจจะเกิดการระเบิดของแบตเตอรี่อีกด้วย ดังนั้นหากมีการควบคุมอุณหภูมิในช่วงการใช้งานให้อยู่ที่อุณหภูมิ 25-40 องศาเซลเซียสได้ อาจจะสามารถป้องกันปัญหาดังกล่าว ซึ่งในการใช้งานจริงนั้นมีโอกาสที่แบตเตอรี่จะไม่สัมผัสกับชุดระบายความร้อน ซึ่งอาจจะเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้ความร้อนของแบตเตอรี่นั้นถูกระบายออกอย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ โดยงานวิจัยนี้จะทำการระบายความร้อนของแบตเตอรี่ โดยใช้แท่งฮีทเตอร์แทนความร้อนจากแบตเตอรี่ และระยะห่างระหว่างแท่งฮีทเตอร์กับผนังระบายความร้อน หรือระยะห่างระหว่างแท่งฮีทเตอร์กับแท่งฮีทเตอร์ที่ทดสอบนั้นจะทำการทดสอบที่ระยะต่างๆ ไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร พบว่าความร้อนที่ได้ต่างกันมากสุดไม่เกิน 0.1 องศาเซลเซียส

คำหลัก: การระบายความร้อนในแบตเตอรี่, แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า, อายุการใช้งานแบตเตอรี่

Abstract

Nowadays, electrical vehicles (EV) have been extensively developed and still be an interesting new technology for people. It is used 18650 size battery with serial circuits and parallel connections. It is installed in a module on the car floor. Acceleration or charging results in shorter battery lifespan and it will make the battery overheated until it explodes. Therefore, if the working temperature can be controlled at 25-40 degrees Celsius these problems can be reduced or prevented. In normally work, a chance that the battery would not be touched the cooling system set is possible. It may caused to the heat of the battery can't be drained inefficiently. The proposed research is to add a cartridge heater instead of using the battery. The distance between the cartridge heater and the cooling wall or the cartridge heater and the cartridge heater will be tested at different levels which is not higher than 0.2 mm and the testing result found that heat difference not over 0.1 degrees Celsius.

Keywords: cooling system battery, cooling system electrical vehicle, battery life cycle.

1. บทนำ

ปัญหาด้านมลพิษในอากาศปัจจุบัน ส่วนหนึ่งมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ในรถยนต์ ซึ่งก็มีการคิดค้นและประดิษฐ์รถยนต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาแทนน้ำมัน โดยมีการพัฒนาแบตเตอรี่จากอดีตที่ใช้กรดตะกั่ว จนถึงปัจจุบันที่ใช้แบตเตอรี่ลิเทียมด้วยคุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่มีค่าอายุการทำงาน ความจุและกำลังไฟฟ้าที่สูง จึงเป็นเทคโนโลยีแบตเตอรี่ที่ดีที่สุดในปัจจุบัน [1] แต่เทคโนโลยีแบตเตอรี่ลิเทียมยังมีความอันตรายอยู่อีกอย่างหนึ่งคือการเกิดเทอร์มอลรันอเวย์ (Thermalrunaway; TR) ซึ่งมีโอกาสเกิดได้ 3 รูปแบบคือทางกลไม่ว่าจะเป็นการเจาะ หรือการบดทางไฟฟ้าเช่นการลัดวงจรภายใน หรือการชาร์ตไฟเกิน และทางอุณหภูมิอย่างเช่นอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงมาก โดยปัญหาที่พบมากสุดจะเป็นทางไฟฟ้าแล้วก่อให้เกิดความร้อนจากภายในจนเกิด TR ซึ่งจะส่งผลให้เกิดควัน ไฟ หรือการระเบิดของแบตเตอรี่ [2] หากมีการต่อพ่วงแบตเตอรี่จำนวนมากอย่างเช่นรถยนต์ไฟฟ้า จะทำให้เกิด TR แบบลูกโซ่ซึ่งเป็นเหตุเกิดไฟไหม้รถยนต์ไฟฟ้าได้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว ดังนั้นการป้องกันที่ดีคือการควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ถึงจุดที่อาจจะเกิด TR

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การใช้แบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้านั้นเป็นแบตเตอรี่ลิเทียมขนาด 18650 คือมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร ยาว 65 มิลลิเมตร โดยเรียงต่อกันแบบเป็นโมดูล ซึ่งในโมดูลของแบตเตอรี่ลิเทียมนั้นจะมีระบบน้ำหล่อเย็นเพื่อคอยลดอุณหภูมิของแบตเตอรี่อยู่ [3] การเกิดปรากฏการณ์ TR นั้นจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดที่จะเกิดก๊าซ ควันหรือไฟ รวมถึงการระเบิดได้ ซึ่งมีนักวิจัยที่กำลังให้ความสนใจเกี่ยวกับการเกิด TR ไม่น้อยไปกว่าการวิจัยเรื่องรถยนต์ไฟฟ้าเนื่องจากปัญหาที่พบในรถยนต์ไฟฟ้าเกี่ยวกับการลุกไหม้ตามข่าว มักมีสาเหตุมาจาก TR เป็นส่วนใหญ่ ไม่ว่าจะอุณหภูมิบริเวณที่ขับขี่รถยนต์ไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงจนเกิดการสะสมของอุณหภูมิของแบตเตอรี่ หรือจะเป็นการชาร์ตแบตเตอรี่จนมีความร้อนถึงจุด TR เป็นต้น

2.1 ทบทวนวรรณกรรม

ในการใช้งานแบตเตอรี่นั้นควรให้สถานะประจุของแบตเตอรี่ (State of Charge, SOC) อยู่ในช่วง 20%-90% โดยอุณหภูมิของแบตเตอรี่ลิเทียมช่วงที่มีการอัดประจุนั้นจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ 0 ถึง 45 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิช่วงคายประจุอยู่ที่ -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส [4] และการชาร์ตแบตเตอรี่แบบไวนั้นจะทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงขึ้นไม่เกิน 3 องศาเซลเซียส [5] ส่วนอุณหภูมิการเกิด TR จะขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่ลิเทียม โดยมีอุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส [6]ดังนั้นหากต้องการที่จะป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่เปิดปรากฏการณ์ TR จะต้องควบคุมไม่ให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงกว่า 80 องศาเซลเซียส

2.2. การแผ่รังสี (Radiation)

เป็นการถ่ายเทความร้อนอีกชนิดหนึ่ง ที่มีการปล่อยความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางๆ โดยวัตถุแต่ละชนิดจะมีค่าการการดูดกลืนจากการแผ่ความร้อนไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับปัจจัยสีและผิว โดยการแผ่ความร้อนจากวัตถุทั่วไปที่อุณหภูมิ T จะพื้นที่ผิวของวัตถุ A จะเขียนได้ดังสมการที่ (1)

$$q = \sigma \varepsilon A T^4 \quad (1)$$

โดยที่

σ= ค่าคงที่สตีฟาน-โบลทซ์มันน์ (5.669×10^{-8} W/m^2 K^4)

ε= ค่าการแผ่รังสี emissivity

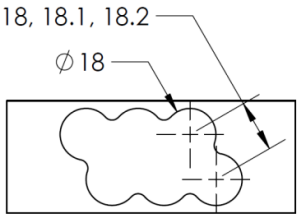
T= อุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุแผ่รังสีความร้อน (K)

กรณีวัตถุมีการแผ่ความร้อนสูงสุด จะเรียกว่าวัตถุอุดมคติ หรือวัตถุดำ ซึ่งวัตถุโดยทั่วไปจะแผ่ความร้อนได้น้อยกว่าวัตถุอุดมคติ

3. การออกแบบการทดลอง

ในการวิเคราะห์ชุดระบายความร้อนของแบตเตอรี่โดยที่ใช้อยู่คือวางชุดระบายความร้อนให้ชิดกับแบตเตอรี่มากที่สุด ซึ่งการวางแบตเตอรี่ในรถยนต์นั้นมีโอกาสที่แบตเตอรี่อาจจะไม่อยู่ในตำแหน่งที่เราต้องการ หรือชุดระบายความร้อนอาจจะมีการขยับ จนไม่ได้อยู่ชิดกับแบตเตอรี่อย่างที่ตั้งใจไว้ รวมไปถึงการมีเศษฝุ่นหรือสิ่งสกปรกเข้าติดยังช่องว่างระหว่างแบตเตอรี่ได้ ดังนั้นหากเกิดระยะห่างระหว่างแบตเตอรี่กับผนังชุดระบายความร้อน การควบคุมอุณหภูมิจะมีประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นในการออกแบบการทดลองจึงพิจารณาที่ระยะห่าง 2 ระดับ คือห่าง 0.1 และ 0.2 มิลลิเมตร คิดที่การแผ่ความร้อนและการพาความร้อน รวมถึงพิจารณากรณีแบตเตอรี่ห่างกัน และแบตเตอรี่ชิดกัน ว่าอุณหภูมิแตกต่างกันมากน้อยเท่าใด

ซึ่งในการทดลองนั้นการใช้แบตเตอรี่จริงจะค่อนข้างเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายจากการระเบิดของแบตเตอรี่ จึงได้เปลี่ยนจากแบตเตอรี่มาเป็นแท่งฮีทเตอร์ โดยอ้างอิงข้อมูลเกี่ยวกับแบตเตอรี่จากการทบทวนวรรณกรรม เพื่อหาตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องไว้ประกอบการพิจารณาการออกแบบชุดระบายความร้อนต่อไป ในการออกแบบการทดลองครั้งนี้ได้ออกแบบชุดระบายความร้อนที่จะนำแท่งฮีทเตอร์ใส่ในช่องว่างภายในดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 มุมมองด้านบนของชุดระบายความร้อน

และออกแบบการทดลองโดยกำหนดให้การทดสอบที่ชุดระบายความร้อนทั้ง 3 แบบคือที่ช่องว่างของรูมีจุดศูนย์กลางห่างกันที่ 18, 18.1 และ 18.2 มิลลิเมตร

1. ทดสอบโดยใช้ชุดระบายความร้อนที่ช่องว่างห่างกันที่ 18 มิลลิเมตร กำหนดเป็น

T0 คือทดสอบที่แท่งฮีทเตอร์ติดกัน ไม่มีช่องว่างใดๆ

2. ทดสอบโดยใช้ชุดระบายความร้อนที่ช่องว่างห่างกันที่ 18.1 มิลลิเมตร กำหนดเป็น

T1 คือมีช่องว่างระหว่างแท่งฮีทเตอร์กับแท่งฮีทเตอร์ 0.1 mm พิจารณาการแผ่ความร้อนอย่างเดียว

T2 คือมีช่องว่างระหว่างแท่งฮีทเตอร์กับแท่งฮีทเตอร์ 0.1 mm พิจารณาการแผ่ความร้อนและการพาความร้อน

T3 คือมีช่องว่างระหว่างแท่งฮีทเตอร์กับผนัง 0.1 mmพิจารณาการแผ่ความร้อนอย่างเดียว

T4 คือมีช่องว่างระหว่างแท่งฮีทเตอร์กับผนัง 0.1 mmพิจารณาการแผ่ความร้อนและการพาความร้อน

3. ทดสอบโดยใช้ชุดระบายความร้อนที่ช่องว่างห่างกันที่ 18.2 มิลลิเมตร กำหนดเป็น

T5 คือมีช่องว่างระหว่างแท่งฮีทเตอร์กับแท่งฮีทเตอร์ 0.2 mm พิจารณาการแผ่ความร้อนอย่างเดียว

T6 คือมีช่องว่างระหว่างแท่งฮีทเตอร์กับแท่งฮีทเตอร์ 0.2 mm พิจารณาการแผ่ความร้อนและการพาความร้อน

T7 คือมีช่องว่างระหว่างแท่งฮีทเตอร์กับผนัง 0.2 mmพิจารณาการแผ่ความร้อนอย่างเดียว

T8 คือมีช่องว่างระหว่างแท่งฮีทเตอร์กับผนัง 0.2 mmพิจารณาการแผ่ความร้อนและการพาความร้อน

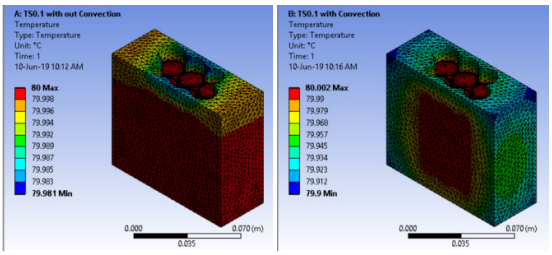
4. ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลนั้น ได้กำหนดความร้อนจากแท่งฮีทเตอร์คงที่ที่ 80 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่ 22 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิจากแบตเตอรี่แผ่ความร้อนไปยังผนังด้านใน พิจารณาการแผ่

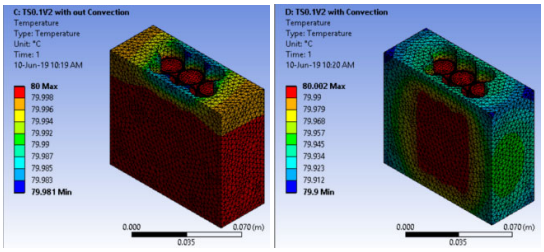
ทางความร้อนของวัตถุ แบบเท่าวัตถุดำ (ε=1) กำหนดค่าของวัสดุเป็นอลูมิเนียม

4.1 วิเคราะห์ผลโดย ANSYS

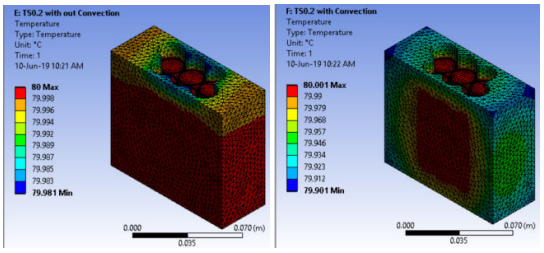
ในการวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม ANSYS ได้ทดสอบจนได้ความผันแปรบนกริดของคำตอบคงที่ประมาณ 291,510 โหนด และ 89,640 อิเลเมนต์ ได้ผลในการทดลองแบบที่ T1 ถึง T8 ดังนี้



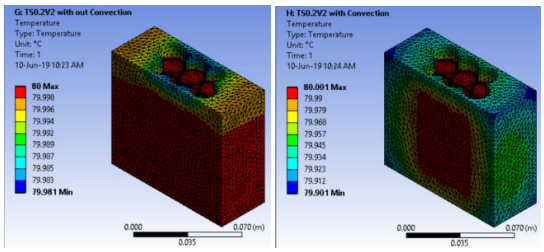
(T1) (T2)



(T3) (T4)



(T5) (T6)



(T7) (T8)

รูปที่ 2 แสดงผลทางอุณหภูมิของแต่ละแบบการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม ANSYS นั้นจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมาก

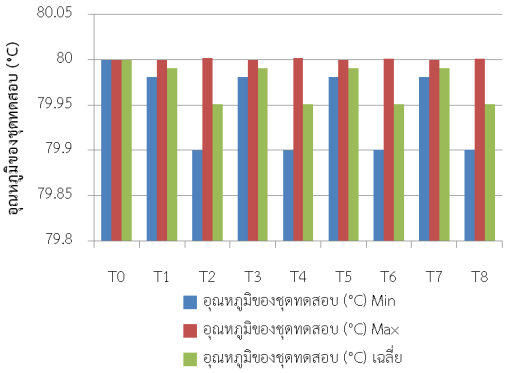
4.2 ผลการทดลองโดยสรุป

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยโปรแกรม ANSYS จะได้ผลของอุณหภูมิมากสุด และน้อยสุดในแต่ละการทดลอง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลของอุณหภูมิจากการทดลอง

แบบ	อุณหภูมิของชุดทดสอบ(°C)		
	Min	Max	เฉลี่ย
T0	80	80	80
T1	79.981	80	79.9905
T2	79.9	80.002	79.951
T3	79.981	80	79.9905
T4	79.9	80.002	79.951
T5	79.981	80	79.9905
T6	79.901	80.001	79.951
T7	79.981	80	79.9905
T8	79.901	80.001	79.951

จากการทดลองเมื่อนำมาพล็อตกราฟดูแนวโน้มจะได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟสรุปอุณหภูมิของแต่ละแบบการทดลอง

ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลของอุณหภูมิใกล้เคียงกันและเมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม ANSYS ซึ่งจะเห็นได้ว่าความร้อนจากแท่งฮีทเตอร์นั้น กระจายไปทั่วชุดระบายความร้อน แต่หากมีการระบายความร้อนเกิดขึ้นที่ผิวด้านข้าง จะทำให้ความร้อน เหลือแต่บริเวณที่ฮีทเตอร์สัมผัส

5. สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลผลการทดลอง

ในการทดลองอุณหภูมิจากแท่งฮีทเตอร์ไปยังผนังของชุดทดสอบอลูมิเนียม สามารถสรุปภาพรวมของอุณหภูมิได้ว่าอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่ 79.9 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 80 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาภาพรวมของอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยของทุกการทดลอง

อุณหภูมิสูงสุดของแต่ละแบบการทดลองนั้นมีอุณหภูมิอยู่ประมาณ 80 องศาเซลเซียส แต่ผลของอุณหภูมิต่ำสุดของแต่ละแบบการทดลองจะมีอยู่ 2 ช่วงอุณหภูมิคือที่อุณหภูมิ 79.98 องศาเซลเซียส เป็นของแบบทดลอง T1, T3, T5 และ T7 คือการทดลองที่พิจารณาเพียงการแผ่ความร้อนอย่างเดียวและที่อุณหภูมิ 79.90 องศาเซลเซียส เป็นของแบบทดลอง T2, T4, T6 และ T8 คือการทดลองที่พิจารณาการแผ่ความร้อนร่วมกันการพาความร้อนซึ่งจากกราฟทั้ง 2 รูปสามารถวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยแบ่งเป็น 3 ข้อดังนี้

1. การเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างแบตเตอรี่กับแบตเตอรี่เทียบกับ T0 ที่มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งแบ่งเป็น

- พิจารณาการแผ่ความร้อนอย่างเดียว มีระยะห่างระหว่างแบตเตอรี่ T1 0.1 mm และ T50.2 mm มีอุณหภูมิเฉลี่ย 79.99 องศาเซลเซียส

- พิจารณาการแผ่ความร้อนร่วมกับการพาความร้อนมีระยะห่างระหว่างแบตเตอรี่ T2 0.1 mm และ T6 0.2 mm มีอุณหภูมิเฉลี่ย79.95 องศาเซลเซียส

2. การเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างแบตเตอรี่กับผนังอลูมิเนียมซึ่งแบ่งเป็น

- พิจารณาการแผ่ความร้อนอย่างเดียว มีระยะห่างระหว่างแบตเตอรี่ T3 0.1 mm และ T7 0.2 mm มีอุณหภูมิเฉลี่ย 79.99 องศาเซลเซียส

- พิจารณาการแผ่ความร้อนร่วมกับการพาความร้อนมีระยะห่างระหว่างแบตเตอรี่ T4 0.1 mm และ T8 0.2 mm มีอุณหภูมิเฉลี่ย 79.95 องศาเซลเซียส

3. เปรียบเทียบระหว่างการแผ่ความร้อนอย่างเดียวกับการแผ่ความร้อนร่วมกับการพาความร้อนซึ่งการแผ่ความร้อนอย่างเดียวตามแบบ T1, T3, T5 และ T7 มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากันที่ 79.99 องศาเซลเซียส คิดเป็น 99.988% เทียบกับอุณหภูมิ T0 ที่ 80 องศาเซลเซียส ส่วนการแผ่ความร้อนร่วมกับการพาความร้อนตามแบบ T2, T4, T6และ T8 มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากันที่ 79.95 องศาเซลเซียส คิดเป็น 99.939% เทียบกับอุณหภูมิ T0 ที่ 80 องศาเซลเซียส

ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า รูปแบบการทดลองที่มีระยะห่างระหว่างแบตเตอรี่กับแบตเตอรี่ หรือระยะห่างระหว่างแบตเตอรี่กับผนังอลูมิเนียม ที่ระยะห่างไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร ทดสอบกับแท่งฮีทเตอร์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทำให้อุณหภูมิของชุดทดลองมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 79.9 ถึง 80 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอุณหภูมิต่างกันไม่เกิน 0.1 องศาเซลเซียส ถือว่าอุณหภูมิแตกต่างกันเล็กน้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม ANSYS ระหว่างแท่งฮีทเตอร์กับแท่งฮีทเตอร์หรือระหว่างแท่งฮีทเตอร์กับผนังชุดระบายความร้อนอุณหภูมิแตกต่างกันเล็กน้อย ทำให้ในการวิเคราะห์การระบายความร้อนของแบตเตอรี่

18650 หรือแบบทดลองที่ใช้แท่งฮีทเตอร์แทน สามารถใช้ข้อมูลจากแหล่งความร้อนได้เลย คือผนังด้านในของอลูมิเนียมมีอุณหภูมิเท่ากับแท่งฮีทเตอร์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไปถึงการระบายความร้อน เพื่อลดอุณหภูมิออกจากแหล่งความร้อนต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนและผลักดันงานวิจัยจาก สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล-ระบบราง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์พระนครศรีอยุธยา

7. เอกสารอ้างอิง

[1] H. Liu, Z. Wei, W. He, J. Zhao. (2017). Thermal issues about Li-ion batteries and recent progress in battery thermal management systems: a review, Energy Convers. Manage. Vol.150, pp 304–330.

[2] Xuning Feng, Minggao Ouyang, Xiang Liu, Languang Lua, Yong Xiaa, Xiangming He. (2018). Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review, Energy Storage Materials vol.10,pp 246–267

[3] Bloomberg Businessweek, (2017). We’re Going to Need More Lithium, URL:https://www.bloomberg.com/graphics/2017-lithium-battery-future/, access on 08/04/2019.

[4] Aoxia Chen, Pankaj K. Sen. (2016). Advancement in Battery Technology: AState-of-the-Art Review. 2016-ESC-0713, 978-1-4799-8397-1/16/$31.00 © 2016 IEEE

[5] Joris Jaguemont, Noshin Omar, Mohamed Abdel-Monem, Peter Van den Bossche, Joeri Van Mierlo. (2018). Fast-charging investigation on high-power and high-energy density pouch cells with 3D-thermal model development.Applied Thermal Engineering vol. 128, pp 1282–1296

[6]Christoph Bolsinger, Kai Peter Birke. (2019). Effects of different coolants and cooling strategies on the coolingperformance of the power lithium ion battery system: A review. Journal of Energy Storage vol. 21 pp 222–230