

การระบายความร้อนจากแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า

ปิยธิดา ไตรนุรักษ์^๑ กิตตินันท์ บุญมา^๑ ณพล ปฐมพรเทพ^๑ ยศพงษ์ ลอนนวล^๑ สมชาย วงศ์วิเศษ^{๑,๒}

^๑ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

^๒ ราชบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ประเภทวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตสภา
somchai.won@kmutt.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาด้านมลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะปัญหาฝุ่นขนาดเล็กไม่เกิน ๒.๕ ไมครอน (PM2.5) มีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ฝุ่น PM2.5 ซึ่งมีขนาดเพียงครึ่งหนึ่งของขนาดเม็ดเลือดสามารถเล็ดลอดเข้าสู่ร่างกายผ่านเข้าไปยังเส้นเลือดฝอยและกระจายไปยังอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย (Greenpeace 2016) ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนในประเทศ สาเหตุสำคัญที่ทำให้ปริมาณฝุ่น PM2.5 มีแนวโน้มสูงขึ้นมาจากภาคอุตสาหกรรมและการขนส่ง ทำให้การใช้ยานยนต์ไฟฟ้าได้รับความนิยมเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากไม่ปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ แบตเตอรี่ถือเป็นหัวใจหลักของยานยนต์ไฟฟ้า โดยแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (lithium-ion battery หรือ Li-ion battery) เป็นแบตเตอรี่ที่นิยมใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากมีน้ำหนักเบา มีค่าพลังงานจำเพาะ (specific energy) สูง มีอัตราการคายประจุในตัวเอง (self-discharge) ต่ำ ทำให้กักเก็บพลังงานได้นานแม้ไม่ใช้งาน รวมถึงอายุการใช้งาน (life cycle) ที่ยาวนานเมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม การใช้งานแบตเตอรี่ทั้งในขณะอัดประจุ (ชาร์จแบตเตอรี่) หรือคายประจุ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์แบตเตอรี่ส่งผลให้เกิดความร้อนภายในเซลล์ โดยปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับปริมาณกระแสไฟฟ้าในขณะอัดหรือคายประจุ เช่น ในขณะเหยียบคันเร่งจนสุดอย่างรวดเร็ว แบตเตอรี่จะคายประจุไฟฟ้าด้วยอัตราคายประจุที่สูง ส่งผลให้เกิดความร้อนสะสมในเซลล์แบตเตอรี่มากขึ้น ทำให้แบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงขึ้น และหากอุณหภูมิแบตเตอรี่มีค่าสูงเกินไป ก็จะส่งผลให้อิออนอิสระของลิเทียมที่ขั้วแคโทดของแบตเตอรี่มีปริมาณลดลง ทำให้ความต้านทานภายในเซลล์แบตเตอรี่มีค่าสูงขึ้น และส่งผลให้ความจุไฟฟ้าและอัตราการปล่อยพลังงานของแบตเตอรี่ลดต่ำลง ทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่สั้นลง ช่วงอุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง ๑๕-๔๕ องศาเซลเซียส (Hannan et al., 2017) อันเป็นช่วงที่อายุการใช้งานของแบตเตอรี่มีค่าสูงสุด อย่างไรก็ตาม หากแบตเตอรี่ทำงานในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิต่ำกว่าช่วงทำงานดังกล่าว ก็จะส่งผลให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง ทำให้ปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่เกิดได้ช้า อิออนของลิเทียมเคลื่อนที่ได้ลำบาก ทำให้ความต้านทานภายในแบตเตอรี่สูงขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ลดลง รวมถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง

ดังนั้น ระบบการระบายความร้อนของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น เพื่อควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ระบบดังกล่าวจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนสูงหรือต่ำเกินกว่าช่วงที่กำหนด ซึ่งจะช่วยให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้นและมีประสิทธิภาพพลังงานสูงขึ้น ระบบการระบายความร้อนของแบตเตอรี่ที่วงการวิจัยให้ความสำคัญในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลากหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ที่ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้านั้น โดยสามารถแบ่งระบบดังกล่าวได้ ๔ รูปแบบ ได้แก่

การระบายความร้อนด้วยอากาศ

วิธีการระบายความร้อนในรูปแบบนี้มีราคาถูก ไม่ซับซ้อน น้ำหนักเบา และบำรุงรักษาได้ง่าย อีกทั้งไม่มีปัญหาการรั่วซึมของของเหลวเกิดขึ้นในระบบ แต่จะมีข้อจำกัดในเรื่องประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ต่ำกว่าระบบการระบายความร้อนด้วยของเหลว โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง และถูกใช้งานที่อัตราการอัดประจุและคายประจุสูง เนื่องจากอากาศมีความหนาแน่นและความจุความร้อนต่ำ หากแบ่งประเภทการระบายความร้อนด้วยอากาศตามหลักการถ่ายเทความร้อน ก็จะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การระบายความร้อนแบบพาสซีฟ (passive cooling) ซึ่งใช้การเคลื่อนที่ของรถขณะขับขี่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากภายในแพ็คเกจของแบตเตอรี่ออกสู่สิ่งแวดล้อม และการระบายความร้อนแบบแอกทีฟ (Active cooling) ซึ่งอาศัยการให้กำลังงานแก่พัดลมในการอัดอากาศเข้าไปในระบบเพื่อช่วยในการถ่ายเทความร้อน อย่างไรก็ตาม ระบบการระบายความร้อนด้วยอากาศไม่เหมาะกับการใช้งานในพื้นที่ที่มีสภาพภูมิอากาศร้อนและอุณหภูมิสูงเช่นในประเทศไทย ตัวอย่างยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ระบบการระบายความร้อนด้วยอากาศ ได้แก่ Nissan Leaf ซึ่งใช้หลักการถ่ายเทความร้อนแบบพาสซีฟ อาศัยการพาความร้อนแบบอิสระ ในขณะที่ Honda Fit และ Mitsubishi i-MiEV ใช้ระบบระบายความร้อนแบบแอกทีฟ โดยมีพัดลมช่วยทำให้อากาศไหลวน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน

การระบายความร้อนด้วยของเหลว

วิธีการระบายความร้อนในรูปแบบนี้อาศัยการถ่ายเทความร้อนผ่านของเหลว เช่น น้ำ น้ำผสมสารละลายไกลคอล น้ำมัน รวมถึงสารทำความเย็น จุดเด่นของการระบายความร้อนด้วยของเหลวคือ สามารถระบายความร้อนของแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพดีกว่าอากาศ เนื่องจากของเหลวมีความจุความร้อนสูงกว่าอากาศ อย่างไรก็ตาม ระบบนี้มีความซับซ้อนและมีราคาแพงกว่า เนื่องจากต้องติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม เช่น ปั๊มส่งของเหลว หม้อน้ำเพื่อระบายความร้อนออกจากของเหลว ส่งผลให้น้ำหนักของแพ็คเกจของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นซึ่งทำให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังมีความเสี่ยงจากปัญหาการรั่วซึมของของเหลวในแพ็คเกจของแบตเตอรี่ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจรได้ การระบายความร้อนด้วยของเหลวถือเป็นวิธีการที่พบเห็นได้ในยานยนต์ไฟฟ้าหลายยี่ห้อ เช่น Tesla Model S ซึ่งออกแบบให้มีท่อโลหะขนาดเล็กและบางติดตั้งแนบที่ผิวข้างของเซลล์แบตเตอรี่รูปทรงกระบอก และใช้น้ำผสมสารละลายไกลคอลเป็นของเหลวทำงาน ในขณะที่ BMW i3 และ Audi e-tron GT quattro ใช้ระบบการระบายความร้อนโดยใช้ระบบอัดไอ (vapor compression) ที่ให้สารทำความเย็น (refrigerant) ไหลผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งด้านในแพ็คเกจของแบตเตอรี่

การระบายความร้อนด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ

วิธีการระบายความร้อนในรูปแบบนี้นำข้อได้เปรียบในการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการเปลี่ยนสถานะของวัสดุซึ่งจะไม่ทำให้ตัวกลางที่มารับความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยอาศัยวัสดุที่เรียกว่า วัสดุเปลี่ยนสถานะ (phase change material หรือ PCM) ซึ่งจะดูดซับความร้อนจากแบตเตอรี่ในรูปของความร้อนแฝงวิธีนี้เป็นวิธีการระบายความร้อนแบบพาสซีฟวิธีหนึ่งซึ่งช่วยให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ในการออกแบบนิยมให้เซลล์แบตเตอรี่ฝังอยู่ในวัสดุเปลี่ยนสถานะเพื่อให้สามารถดูดซับความร้อนได้ดี (Stetter 2013) อย่างไรก็ตาม การระบายความร้อนด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะยังมีข้อด้อยในเรื่องน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และจำเป็นต้องมีระบบระบายความร้อนเพิ่มเติมเพื่อทำให้วัสดุเปลี่ยนสถานะกลับคืนสภาพและสามารถดูดความ

ร้อนได้อีกครั้ง การระบายความร้อนด้วยวิธีดังกล่าวยังอยู่ในขั้นวิจัยและพัฒนา ไม่ได้มีการพัฒนาออกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้จริงในท้องตลาด

การระบายความร้อนด้วยท่อความร้อน

ท่อความร้อน (heat pipe) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้หลักการระบายความร้อนแบบ แพลสซีฟเช่นเดียวกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ ท่อความร้อนประกอบด้วยส่วนควบแน่น (condenser section) ส่วนอะเดียแบติก (adiabatic section) และส่วนระเหย (evaporator section) ท่อความร้อนถูกนำมาศึกษา เพื่อการประยุกต์ใช้ระบายความร้อนจากแพ็คเกจของแบตเตอรี่ (Smith et al., 2018; Mbulu et al., 2021; Boonma et al., 2022) โดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนจากการเปลี่ยนสถานะของสารทำงานภายในท่อ ความร้อน เมื่อสารทำงานในส่วนระเหยดูดซับความร้อน จะเกิดการระเหยกลายเป็นไอ จากนั้นไอจะไหลไปยัง ส่วนควบแน่น ซึ่งสารทำงานจะควบแน่นและไหลกลับสู่ส่วนระเหย โดยอาศัยแรงคาพิลลารี (capillary force) หรือแรงโน้มถ่วง (gravitational force) เพื่อรับความร้อนอีกครั้ง ในการใช้งานจึงจำเป็นต้องให้ท่อความร้อน ทำงานร่วมกับระบบระบายความร้อนระบบอื่น เช่นเดียวกับการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ ระบบดังกล่าวมีข้อดี คือ มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง น้ำหนักเบา ขนาดกะทัดรัด ราคาประหยัด และอายุการใช้งานยาวนาน

สรุป

สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า การควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ให้ทำงานอยู่ช่วงที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งาน ในปัจจุบันการระบายความร้อนด้วยอากาศ และการระบายความร้อนด้วยของเหลว เป็นระบบที่วงการยานยนต์ไฟฟ้าให้ความสนใจ ดังจะเห็นได้จากการติดตั้งใช้งานจริงในยานยนต์ไฟฟ้าหลากหลายรุ่น อย่างไรก็ตาม การติดตั้งระบบระบายความร้อนของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อยานยนต์ไฟฟ้าทั้งในด้านน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ความต้องการพื้นที่ติดตั้ง รวมถึงความต้องการใช้พลังงานของอุปกรณ์เสริม ทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การขับเคลื่อนได้ระยะทางลดลง การวิจัยและพัฒนาในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการระบายความร้อนของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าจึงยังเป็นสิ่งที่ท้าทายและต้องการการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพ ขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบา

