

NGHIÊN CỨU THỬ NGHIỆM QUÁ TRÌNH LƯU TRỮ NHIỆT CỦA ẮC QUI NHIỆT SỬ DỤNG VẬT LIỆU THAY ĐỔI PHA

EXPERIMENTAL STUDY ON THE HEAT STORAGE PROCESS OF THERMAL BATTERY USING THE PHASE CHANGE MATERIAL

DƯƠNG XUÂN QUANG*, ĐẶNG VĂN TRƯỜNG

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: duongxuanquang@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo trình bày nguyên lý làm việc, cơ sở tính toán, thiết kế mô hình thực nghiệm một ắc qui nhiệt sử dụng vật liệu thay đổi pha (PCM) để lưu trữ năng lượng và tiến hành thử nghiệm mô hình với các điều kiện hiện có tại phòng thí nghiệm. Ắc qui nhiệt được thiết kế với thể tích 36 lít có thể lưu trữ được 6865 (kJ) với công suất 0,2kW tương đương với một tích nhiệt sử dụng nước có thể tích lớn hơn 2,1 lần ở cùng điều kiện nhiệt độ.

Từ khóa: Ắc qui nhiệt, thay đổi pha, truyền nhiệt, lưu trữ nhiệt.

Abstract

The article presents the working principle, calculation basis, experimental design of a thermal battery using phase change material (PCM) to store energy and test the model with the equipment available in the laboratory. The thermal battery designed with a volume of 36 liters can store 6865 (kJ) with a capacity of 0.2kW which's equivalent to a 2.1 times larger volume of heat storage tank using water as stored material under the same working conditions.

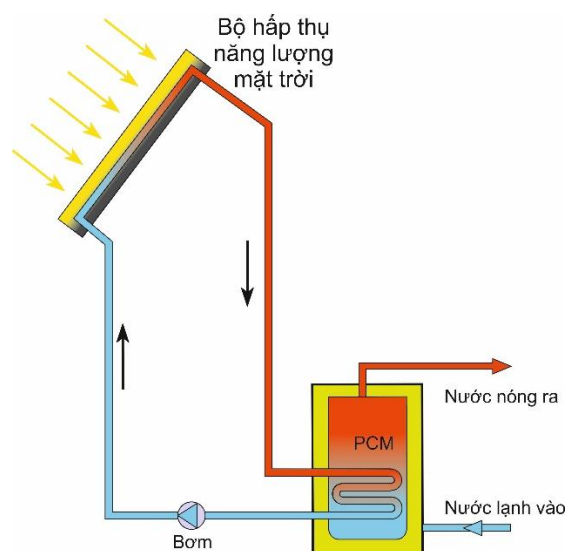
Keywords: thermal battery, phase change, heat transfer, heat storage.

1. Mở đầu

Năng lượng tái tạo đang đóng một vai trò quan trọng trong việc tạo ra năng lượng sạch và giảm thiểu các tác động tiêu cực tới môi trường do đốt nhiên liệu hóa thạch gây ra. Hiện nay trên thế giới, quy mô các dự án sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo khác nhau như là năng lượng gió, năng lượng mặt trời, thủy triều,... đang tăng lên từng ngày. Các dự án này đã bổ sung hàng nghìn MW vào hệ thống lưới điện. Cụ thể ở Việt Nam, theo số liệu của Tập đoàn Điện lực Việt Nam (EVN), tỷ trọng năng lượng tái tạo (gió, mặt trời) cấp cho hệ thống hiện chiếm gần 23,5%. Công nghệ điện mặt trời (PV), chuyển đổi bức xạ mặt trời trực tiếp thành điện năng, đã đạt được tiến bộ vượt bậc với

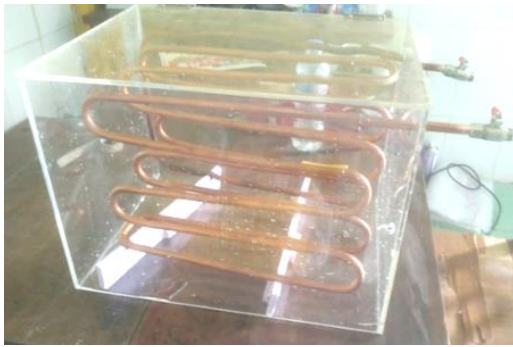
những nghiên cứu nhằm nâng cao hiệu quả và giảm chi phí [1, 2]. Mặt khác, điện mặt trời đã được sử dụng rộng rãi nhưng độ bền của hệ thống và hiệu suất thấp vì các tấm pin không hoạt động giống nhau theo thời gian. Đồng thời, chi phí cho pin lưu trữ còn lớn và tuổi thọ không cao. Một vấn đề khác của công nghệ điện mặt trời là thời gian và cường độ chiếu sáng trong ngày. Do đó, việc kết hợp các hệ thống lưu trữ năng lượng hiệu quả cùng với các nguồn năng lượng tái tạo đang trở nên cần thiết theo thời gian [3, 4].

Để lưu trữ năng lượng mặt trời, phương pháp truyền thống là chuyển đổi năng lượng mặt trời thành năng lượng điện và lưu trữ trong hệ thống các ắc qui điện [5]. Trong thời gian gần đây, một giải pháp thay thế đã được đề xuất và nghiên cứu là sử dụng “ắc qui nhiệt” để lưu trữ năng lượng mặt trời mà trong đó các chất thay đổi pha (PCM) được sử dụng [6, 7]. Trong các ắc qui nhiệt này, năng lượng mặt trời được chuyển đổi thành nhiệt năng và lưu trữ vào các khoang chứa vật liệu thay đổi pha thông qua nhiệt ẩn hóa lỏng và nhiệt hiện của vật liệu này.

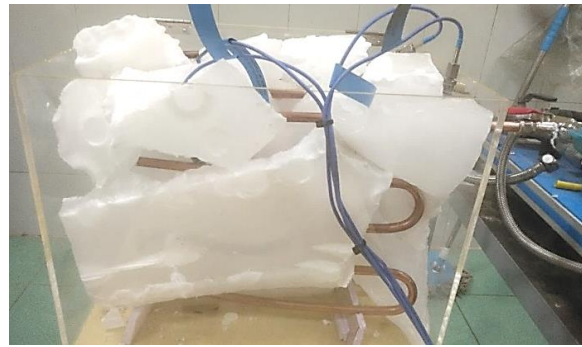


Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống ắc qui nhiệt

Sơ đồ nguyên lý của ắc qui nhiệt được mô tả trong Hình 1. Quá trình lưu trữ nhiệt (quá trình sạc) vào ắc qui được thực hiện khi có ánh sáng mặt trời. Bức xạ



(a)



(b)

Hình 2. Mô hình thí nghiệm ắc qui nhiệt (a) trước và (b) sau khi điền đầy PCM

từ mặt trời truyền tới ống hấp thụ nhiệt của bộ thu năng lượng mặt trời làm tăng nhiệt độ của chất tải nhiệt (HTF). Chất tải nhiệt được bơm tuần hoàn qua ắc qui nhiệt, tại đó nhiệt của chất tải nhiệt được truyền cho PCM ở thể rắn. Đầu tiên, PCM tăng nhiệt độ cho tới khi nó đạt được nhiệt độ nóng chảy. Phần nhiệt lượng mà PCM nhận được trong giai đoạn này là phần nhiệt hiện. Sau đó, PCM bắt đầu nóng chảy, trong suốt quá trình nóng chảy nhiệt độ của PCM không thay đổi. Lượng nhiệt làm nóng chảy PCM chính là nhiệt ẩn. Trong trường hợp nhiệt độ chất tải nhiệt cao hơn nhiệt độ nóng chảy của PCM, thì nhiệt độ của PCM tiếp tục tăng lên và một phần nhiệt hiện nữa được lưu trữ trong PCM ở giai đoạn này. Ở trạng thái này, ắc qui được gọi là “no nhiệt”. Như vậy, PCM đã lưu trữ được lượng nhiệt từ chất tải nhiệt thông qua nhiệt ẩn và nhiệt hiện của nó.

Trong quá trình sử dụng (quá trình xả) chất tải nhiệt được bơm qua ắc qui. Do chênh lệch nhiệt độ nên PCM trong ắc qui nhả nhiệt cho chất tải nhiệt. PCM giảm nhiệt độ cho đến khi nhiệt độ của nó bằng với nhiệt độ hóa rắn của PCM, thì PCM bắt đầu chuyển từ thể lỏng sang thể rắn, trong suốt quá trình này nhiệt độ của nó không đổi. Sau khi PCM hóa rắn hoàn toàn, PCM vẫn có thể tiếp tục cung cấp phần nhiệt hiện trong nó cho chất tải nhiệt nếu nhiệt độ yêu cầu của chất tải nhiệt nhỏ hơn nhiệt độ hóa rắn của PCM ở trong ắc qui. Như vậy, PCM đã truyền cho chất tải nhiệt phần nhiệt ẩn và nhiệt hiện mà nó đã lưu trữ được.

Nghiên cứu này tập trung vào việc tính toán, thiết kế mô hình thực nghiệm một ắc qui nhiệt, tiến hành thử nghiệm, kiểm tra trên mô hình đó, và từ các kết quả thực nghiệm nhận được đưa ra các đánh giá ban đầu về khả năng ứng dụng của ắc qui nhiệt trong thực tế.

2. Thiết kế mô hình thí nghiệm ắc qui nhiệt

2.1. Mô tả thí nghiệm

Nhóm tác giả đã thiết kế và xây dựng một mô hình thực nghiệm ắc qui nhiệt, trong mô hình này nguồn nhiệt từ bộ thu năng lượng mặt trời được thay thế bởi một nguồn cấp nước nóng có nhiệt độ ổn định như được thể hiện trong Hình 2a. Các kính thước của ắc qui được nêu trong Bảng 1. Vật liệu thay đổi pha được lựa chọn sử dụng cho thí nghiệm là Sáp nến (Parafin Wax). Các đặc tính nhiệt động học được xác định trong Bảng 2. PCM được điền đầy vào ắc qui với 85% thể tích bình chứa (Hình 2b). Ắc qui được bọc cách nhiệt với môi trường bằng một lớp xốp cách nhiệt Expandable PolyStyrene (EPS).

Bảng 1. Kích thước của ắc qui nhiệt

Tham số	Giá trị	Đơn vị
Chiều dài (<i>L</i>)	400	mm
Chiều rộng (<i>B</i>)	300	mm
Chiều cao (<i>D</i>)	300	mm
Đường kính ống (<i>d</i>)	10	mm
Chiều dài ống (<i>Lt</i>)	5000	mm

Bảng 2. Tính chất vật lý của Parafin

Tham số	Giá trị	Đơn vị
Nhiệt độ nóng chảy (T_m)	43-56	°C
Khối lượng riêng (ρ)	900-970	kg/m ³
Nhiệt dung riêng (C_p)	2,0-2,9	kJ/kgC
Nhiệt nóng chảy (Δh_m)	190-210	kJ/kg
Hệ số dẫn nhiệt (<i>k</i>)	0,22-0,24	W/mC

Các đầu cảm biến nhiệt độ (ST1 - ST4) loại RTD100 được đặt tại 4 vị trí trên ắc qui để đo nhiệt độ của PCM, và 2 cảm biến nhiệt độ (ST_I và ST_O) đo nhiệt độ nước vào và ra khỏi ắc qui. Nhiệt độ nguồn nhiệt - nước nóng tuần hoàn được duy trì ổn định bởi một bộ gia nhiệt điện trở, còn lưu lượng dòng chảy

được điều khiển bởi một bơm cấp (AB-1). Cảm biến lưu lượng (SC1) đo lưu lượng nước tuần hoàn qua ắc qui. Các thiết bị này được kết nối và điều khiển trên máy tính. Giao diện chương trình điều khiển được thiết kế trên NI Labview được mô tả như trên Hình 3.

2.2. Phân tích năng lượng

Nhiệt lượng lưu trữ lý thuyết của PCM được tính theo công thức:

$$Q_{max} = m \left[C_{p,s} (T_m - T_i) + \Delta h_m + C_{p,l} (T_f - T_m) \right] \quad (1)$$

Trong đó, m là khối lượng của PCM, Δh_m là nhiệt ẩn hóa lỏng của vật liệu, $C_{p,s}$ và $C_{p,l}$ lần lượt là nhiệt dung riêng ở trạng thái rắn và lỏng của PCM, T_m là nhiệt độ nóng chảy của PCM, T_i và T_f lần lượt là nhiệt độ ban đầu và nhiệt độ cuối của PCM.

Nếu bỏ qua tổn thất nhiệt từ ắc qui ra môi trường bên ngoài, lượng nhiệt lưu trữ trong ắc qui đúng bằng nhiệt lượng mà nguồn cấp nhiệt truyền cho PCM. Ở điều kiện như vậy thì tốc độ cấp nhiệt được xác định theo công thức:

$$\dot{Q} = \dot{m} C_{p,HTF} (T_{in} - T_{out}) \quad (2)$$

Trong đó, \dot{m} là lưu lượng khối lượng của nước, $C_{p,HTF}$ là nhiệt dung riêng trung bình của nước, T_{in} và T_{out} là nhiệt độ của nước vào và ra khỏi ắc qui.

Tổng nhiệt lượng lưu trữ được trong ắc qui được xác định theo công thức:

$$Q = \int_0^t \dot{m} C_{p,HTF} (T_{in} - T_{out}) dt \quad (3)$$

2.3. Phân tích tính tin cậy của kết quả thực nghiệm

Độ sai lệch giữa các giá trị đo được của một thông số nào đó trong quá trình thực nghiệm ảnh hưởng lớn đến độ tin cậy của kết quả thí nghiệm. Do mỗi một thiết bị đo đạc được sử dụng trong mô hình thực nghiệm này như là cặp nhiệt điện và lưu lượng kế đều có các sai số của bản thân thiết bị cho nên cần phải xem xét một sai số mà có thể bao hàm được tất cả các sai số của các thiết bị đo riêng biệt trong quá trình tính toán nhiệt lượng lưu trữ được trong ắc qui.

Sai số gắn liền với tốc độ truyền nhiệt δ_Q được xác định bởi công thức:

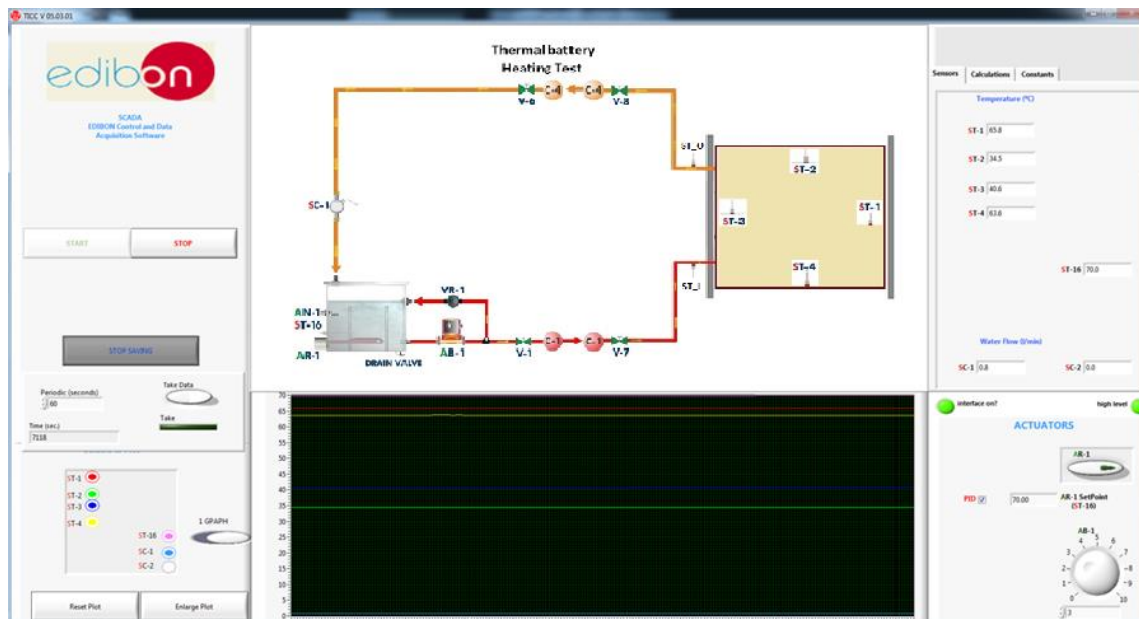
$$\delta_Q = t C_{p,HTF} \sqrt{(\Delta T \delta_m)^2 + (\dot{m} \delta_{T_{out}})^2 + (-\dot{m} \delta_{T_{in}})^2} \quad (4)$$

Trong đó, δ_m sai số của đồng hồ đo lưu lượng, $\delta_{T_{out}}$ và $\delta_{T_{in}}$ lần lượt là sai số kế đến của nhiệt kế đo nhiệt độ nước vào và nước ra.

3. Kết quả và thảo luận

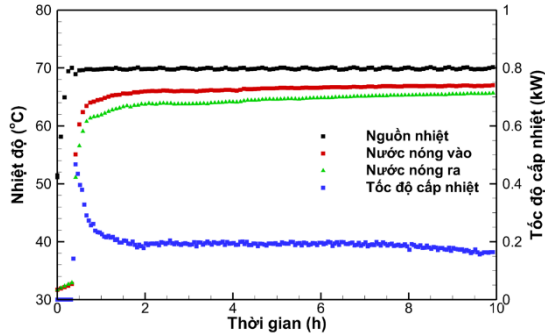
Tiến hành thí nghiệm với nhiệt độ nước nóng cấp vào được chọn là 70°C. Nhiệt độ ban đầu của ắc qui bằng với nhiệt độ môi trường (30°C). Nước nóng tuần hoàn với lưu lượng 1 lít/phút. Tín hiệu đo từ các cảm biến đo lưu lượng, cảm biến nhiệt độ được đưa về máy tính và ghi lại sau khoảng thời gian 30s.

Nhiệt độ nước nóng tại cửa vào (màu đỏ) và cửa ra của ắc qui (màu xanh), tốc độ cấp nhiệt được biểu diễn trên hình Hình 4. Từ đồ thị cho thấy, trong thời

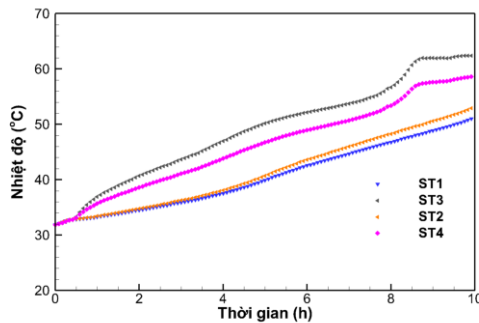


Hình 3. Sơ đồ thí nghiệm và giao diện điều khiển trên máy tính

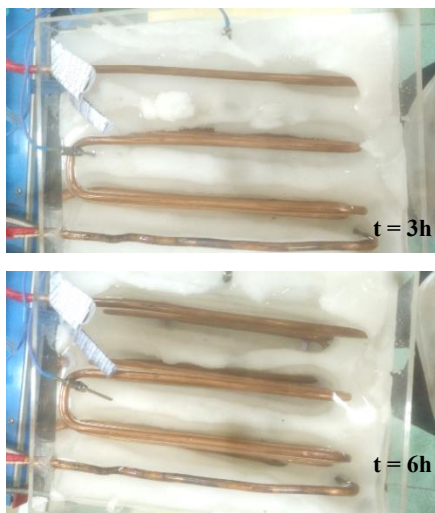
gian đầu độ chênh nhiệt độ nước vào và ra khỏi ắc qui lớn, sau đó giảm dần theo thời gian. Dẫn tới tốc độ cấp nhiệt cho ắc qui (tính theo công thức (2)) cũng thay đổi theo thời gian. Tốc độ cấp nhiệt trung bình trong quá trình đạt khoảng 0,2kW.



Hình 4. Nhiệt độ nguồn nhiệt và tốc độ cấp nhiệt cho ắc qui thay đổi theo thời gian



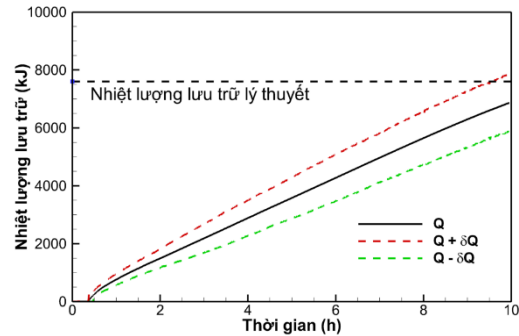
Hình 5. Nhiệt độ của PCM thay đổi theo thời gian



Hình 6. Trạng thái của PCM tại thời điểm t = 3 giờ và t = 6 giờ

Các profile nhiệt độ của PCM tương ứng với các vị trí của cảm biến ST1-ST4 được biểu diễn trên Hình 5. Từ đồ thị cho thấy nhiệt độ của PCM phân bố không đồng đều trong quá trình cấp nhiệt. Tại khu vực gần

cửa vào của nước cấp tương ứng cảm biến ST2 và ST4 cho thấy nhiệt độ cao hơn so với khu vực khác tương ứng với cảm biến ST1 và ST3. Sự phân bố không đều nhiệt độ này có thể quan sát thấy được qua sự nóng chảy không đều của PCM tại các vị trí khác nhau trên ắc qui (Hình 6).



Hình 7. Nhiệt lượng lưu trữ

Hình 7 biểu diễn nhiệt lượng lưu trữ theo lý thuyết và nhiệt lượng lưu trữ thực tế của ắc qui. Kết quả cho thấy nhiệt lượng lưu trữ được $Q = 6.865 (kJ)$ sau 10 giờ. Với sai số lớn nhất tính được $\delta_Q/Q = \pm 14.3\%$ ta xác định được vùng tin cậy của kết quả thực nghiệm trên đồ thị phù hợp với nhiệt lượng với nhiệt lượng lưu trữ lý thuyết.

Bảng 3. So sánh ắc qui PCM và nước

Công chất	Khối lượng PCM (kg)	Thể tích bình chứa (lít)
PCM	27,5	36,0
Nước	63,1	74,3

Bảng 3 thể hiện số liệu so sánh thể tích bình chứa của mô hình ắc qui nhiệt thực nghiệm với một bình tích nhiệt sử dụng nước có chứa nước có cùng nhiệt độ ban đầu và nhiệt độ cuối. Từ kết quả cho thấy ắc qui nhiệt đã thiết kế có thể lưu trữ lượng nhiệt tương đương với một bình tích nhiệt dùng nước có thể tích lớn hơn nó 2,1 lần. Điều này có thể khẳng định rằng việc sử dụng ắc qui nhiệt với từng hệ thống nhiệt cụ thể có thể giảm đáng kể kích thước và khối lượng của hệ thống.

4. Kết luận

Ở nghiên cứu này, tác giả đã tính toán, thiết kế mô hình thực nghiệm một ắc qui nhiệt sử dụng vật liệu thay đổi pha (PCM) để lưu trữ năng lượng và tiến hành thử nghiệm mô hình với các điều kiện hiện có tại phòng thí nghiệm.

Kết quả thí nghiệm cho thấy, ắc qui nhiệt với thể tích 36 lít có thể lưu trữ được $Q = 6.865 (kJ)$ với công suất 0,2kW. Ắc qui này có khả năng lưu trữ tương

đương với một bình nước nóng có thể tích gấp 2,1 lần thể tích của ắc qui ở cùng điều kiện nhiệt độ lưu trữ.

Với kết quả thu được có thể khẳng định ắc qui nhiệt hoàn toàn có thể được sử dụng để lưu trữ và sử dụng năng lượng nhiệt và có thể giảm đáng kể kích thước và khối lượng của hệ thống.

Tuy nhiên cũng còn một số hạn chế có thể thấy được như: tốc độ cấp nhiệt cho ắc qui còn thấp do sử dụng ống trơn nên diện tích trao đổi nhiệt, tốc độ trao đổi nhiệt chưa cao. Chưa đánh giá được mức độ sử dụng của ắc qui khi xả nhiệt. Những hạn chế này sẽ được nhóm tác giả nghiên cứu và trình bày ở những công bố sau này.

Kết quả của bài báo có thể sử dụng để tham khảo khi thiết kế, đánh giá và khai thác ắc qui nhiệt.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT20-21.36**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M.J. Li, W.Q. Tao, Review of methodologies and polices for evaluation of energy efficiency in high energy-consuming industry, *Applied Energy*. Vol.187, pp.203-215, 2017.
- [2] F. Ascione, Energy conservation and renewable technologies for buildings to face the impact of the climate change and minimize the use of cooling, *Solar Energy*. Vol.154, pp.34-100, 2017.

- [3] N. Kittner, F. Lill, D.M. Kammen, Energy storage deployment and innovation for the clean energy transition, *Nature Energy*. Vol.2, 2017.
- [4] A.A. Prasad, R.A. Taylor, M. Kay, Assessment of solar and wind resource synergy in Australia, *Applied Energy*. Vol.190, pp.354-367, 2017.
- [5] Q. Li, Y. Liu, S. Guo, H. Zhou, Solar energy storage in the rechargeable batteries, *Nano Today*. Vol.16, pp.46-60, 2017.
- [6] N. Azimi Fereidani, E. Rodrigues, A.R. Gaspar, A review of the energy implications of passive building design and active measures under climate change in the Middle East, *Journal of Cleaner Production*. Vol.305, 2021.
- [7] M.H. Kim, X.Q. Duong, J.D. Chung, Performance enhancement of fin attached ice-on-coil type thermal storage tank for different fin orientations using constrained and unconstrained simulations, *Heat and Mass Transfer*. Vol.53, pp.1005-1015, 2017.

Ngày nhận bài:	12/6/2021
Ngày nhận bản sửa:	21/6/2021
Ngày duyệt đăng:	24/6/2021