

적외선 열화상을 활용한 리튬 이온 ESS의 방열설계 성능평가에 관한 연구

김은지*, 이경일**,#, 김재열*

*조선대학교 기계시스템·미래자동차공학과, **송원대학교 자율전공학과

A Performance Evaluation of a Heat Dissipation Design for a Lithium-Ion Energy Storage System Using Infrared Thermal Imaging

Eun-Ji Kim*, Gyung-Il Lee**,#, Jae-Yeol Kim*

*Department of Mechanical System & Automotive Engineering, Chosun University, 375 Seoseok-dong,
Dong, Gwang-Ju South Korea, 501-759.

**Department of Undeclared Majors, Songwon University, 73 Songam-ro, Gwang-Ju, South Korea,
61756.

(Received 30 March 2020; received in revised form 22 April 2020; accepted 26 April 2020)

ABSTRACT

The global battery market is rapidly growing due to the development of vehicles(EV) and wireless electronic products. In particular logistics robots, which help to produce EVs, have attracted much interest in research in Korea. Because logistics sites and factories operate continuously for 24 hours, the technology that can dramatically increase the operation time of the logistics equipment is rapidly developing, and various high-level technologies are required for the batteries used in. for example, logistics robots. These required technologies include those that enable rapid battery charging as well wireless charging to charge batteries while moving. The development of these technologies, however, result in increasing explosions and topical accidents involving rapid charging batteries. These accidents due to the thermal shock caused by the heat generated during the charging of the battery cell. In this study, a performance evaluation of a heat dissipation design using infrared thermal imaging was performed on an energy storage system(Ess) applied with an internal heat conduction cooling method using a heating plate.

Key Words : Energy Storage System(에너지 저장 시스템), Thermal Imaging(열화상), Performance Evaluation(성능평가), Heat Dissipation Design(방열설계)

1. 서 론

현재 배터리 시장은 EV자동차와 무선 전자제품

등의 발전으로 급속도로 성장하고 있다. 특히 물류 로봇의 도입을 위하여 국내에서 매우 적극적으로 연구중이며 이를 EV화 하고 있다. 하지만 물류 현장과 공장이 24시간 연속 가동됨으로 물류장비의 가동시간을 획기적으로 늘릴 수 있는 기술이

Corresponding Author : jia789@songwon.ac.kr

Tel: +82-62-360-5729, Fax: +82-62-360-5729

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

급격히 발전함에 따라 사용되고 있는 배터리에도 다양하고 높은 수준의 기술개발이 요구되고 있으며 자율주행이 가능해짐으로 자율적으로 짧은 시간을 활용한 급속충전과 이동중에도 충전할 수 있는 무선충전 기술이 요구되고 있다. 이러한 기술 발전에서 급속충전 배터리의 폭발, 화재사고가 많아지고 있다. 이는 배터리 셀이 충전중 발열에 의한 열 충격에 의하여 발생 된다. 이에 본 연구에서는 발열판을 이용한 내부 열전도 냉각방식을 적용한 ESS를 적외선 열화상 기법을 이용하여 방열설계에 대한 성능평가에 관한 연구를 하였다.^[1-6]

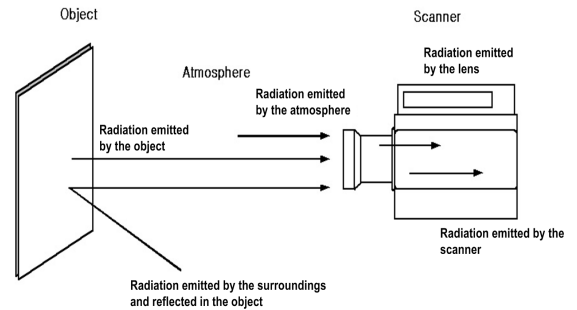


Fig. 1 Radiation contributions to the general measurement situation

$$I_m = I(T_{obj}) \times \tau \times \epsilon + \tau(1-\epsilon) \times I(T_{amb}) + (1-\tau) \times I(T_{atm}) \quad (1)$$

2. 적외선 열화상 검사

2.1 적외선 열화상 원리

적외선 열화상 카메라는 외부의 광원에서부터 대상 물체에 반사 되어진 적외선 파장을 검출하여 Stefan-Boltzmann Law에 의한 온도와 파장의 관계식을 이용하여 적외선 detector로부터 검출된 적외선 파장을 온도의 함수로 나타내어 온도의 고저를 화상으로 보여주는 것이다. Fig. 1는 일반 측정 상황에 대한 방사선을 나타내고 있으며, 대기와 물체 방사율에 영향을 미치는 보정은 열상에 존재하는 부수적인 방사에너지와 대기에 의해 감쇄된 피사체의 방사에너지뿐만 아니라 주위로부터의 방사에너지, 즉 대기 자체에서 방사된 방사에너지와 대기에 의한 감쇄와 물체에서 반사되어진 방사에너지로 존재한다. 피사체 방사에너지 강도는 존재하지 않는 완전한 흑체 방사율의 함수와 같으며, 열 측정 공식은 식(1)에서와 같이 표현된다. 여기에서 첫 번째 항은 피사체의 방사, 두 번째 항은 주위에서 반사된 방사, 세 번째 항은 대기에서의 방사를 나타내고 있다^[6-9]

I_m : Thermal value of measured whole radiation

$I(T)$: Thermal Value

T_{amb} : Ambient air temperature

T_{atm} : Atmosphere air temperature

T_{obj} : Temperature of measurement target

ϵ : Emissivity

τ : Transmissivity

2.2 적외선 열화상 탐상 기법

적외선 열화상 비파괴검사는 2가지의 다른 접근법인 수동적 방법(Passive method)과 능동적 방법(Active method)으로 크게 구분할 수 있다. 능동서모그래피는 외부 가열이나 냉각 등에 의해 열 유동이 생산되어진다. 이러한 열 유동에 의해 일시적 또는 지속적인 자극에 의해 표면의 온도 패턴을 분석함으로써 내부 결함까지 측정할 수 있다. Fig. 2의 수동 기법은 가열이나 냉각이 적용되지 않고, 측정 대상물로부터 자연스럽게 방사되고 있는 적외선 에너지를 검출하는 일반적인 측정 방법이다. 수동적 열화상 기법은 일반적으로 온도 패턴을 기초로 산업 공정 및 제조 단계에서의 평가 및 모니터에 적용된다. 수동적인 방법에서의 결함탐지는 검사에 앞서 온도가 환경에 따라 일정하다. 따라서 시험 대상체는 결함 부위에서 기록할만한 온도를 제공하기 위해 가열되거나 냉각되어야 한다. 이 방법은 제어할 수 없는 에너지(태양)와 상호작용으로 대상체가 방사하는 적외선 에너지를 측정하여 분석하는 기법으로 적외선을 방출하는 모든 물체에 해당하는 사항으로 그 물체가 방출하는 고유의 적외선량을 감지하여 화상으로 나타낸다. 또한, 수동적 방법은 물체 고유의 상태를 파악하는데 사용되는 가장 기본적인 방법으로 측정 대상체의 정량적인 미시적 정밀도를 요구

하는 분야보다는 거시적인 측정법에 속한다.

Fig. 3의 능동적 검사기법(Active method)은 수동적 검사기법과 달리 검사체 고유의 적외선량에 의존하지 않고 제어 가능한 에너지를 입사하고 그 반응으로 검사체가 방사하는 적외선 에너지를 측정하여 분석하는 기법이다. 이러한 검사기법은 물체 표면 방사율, 주변온도, 측정각도, 풍속, 거리, 형상에 따른 영향을 제어하여 검사자가 얻고자 하는 결과를 정밀하게 얻을 수 있는 장점이 있다. 능동형 검사기법으로는 대표적으로 광적외선, 진동, 마이크로웨이브, 초음파, 와전류 등 에너지의 입사 종류에 따른 분류와 제어 방법에 따른 분류로 나눌 수 있는데 이러한 검사기법을 통하여 검사체로부터 얻을 수 있는 결과 값이 더욱 정밀해지는 효과가 있다. 또한, 전류를 흘리는 방법이나 전류의 ON/OFF를 제어하여 고장 위치를 알기 쉽게 하는 방법도 이루어지고 있다. 액티브(능동)방식은 일반적으로 측정 대상물에는 전혀 열이 가해지지 않아 온도 분포가 없거나 온도 또는 온도차가 매우 미소한 경우 외부로부터 열을 가함으로써 측정 대상물의 표면의 미세 결함(크랙 등)이나 내부 결함(내부 크랙이나 보이드)을 온도 분포로써 부상시켜 검출하는 방법이다.

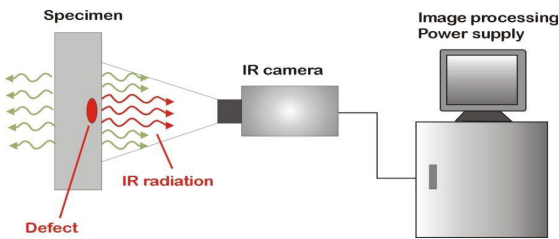


Fig. 2 Passive method (jenoptik ag)

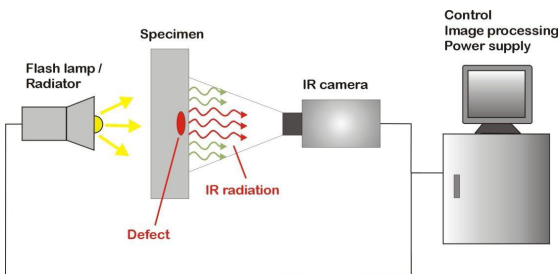


Fig. 3 Active method (jenoptik ag)

3. ESS 방열설계 성능평가

3.1 Components of Experiment Equipment

본 연구에서는 ESS 배터리 팩의 방열설계 검증을 위하여 열화상카메라와 BMS(Battery management system), 열전대를 통하여 기존제품과 방열설계 제품의 열을 직접 측정함으로써 비교 분석하였다.

Fig. 4와 같이 열화상 카메라, ESS배터리, 급속충방전시스템, BMS, 열전대로 구성되어 실험을 하였으며 열화상 카메라는 FLIR T640은 포터블 형태로 이동성이 좋다. 고 해상도, 대형 터치스크린, 높은 온도 분해능, 회전식 렌즈, 뷰 파인더, Wi-Fi 및 블루투스(Bluetooth), USB등 연결 지원이 가능하다. 최고(640×480) 픽셀의 IR해상도를 가지고 있으며, 측정 온도 범위는 $-40^{\circ}\text{C} \sim 2,000^{\circ}\text{C}$, 민감도는 30°C 에서 0.035°C 이다. 1~8× 연속 디지털 줌, 연속 자동 초점 및 수동 초점, 5메가 픽셀의 실 화상 카메라를 내장하여 열화상/실 화상 이미지를 동시 저장 가능하여 실 화상 내 열화상 삽입(PIP) 및 합성이 가능하다. 또한 USB를 PC에 연결하여 촬영 영상의 녹화 및 스트리밍 가능하다. 방열특성을 향상시키기 위한 ESS설계를 위하여 ESS의 측면에 알루미늄을 이용한 히트싱크를 설치하고 내부 셀과 셀 캡 사이에 박판형 구리를 삽입하고 이를 히트싱크와 연결함으로써 ESS의 셀의 급격한 온도상승을 방지함으로써 폭발을 방지하도록 설계되었다.

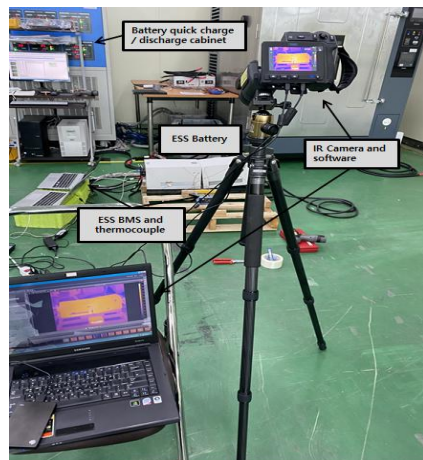
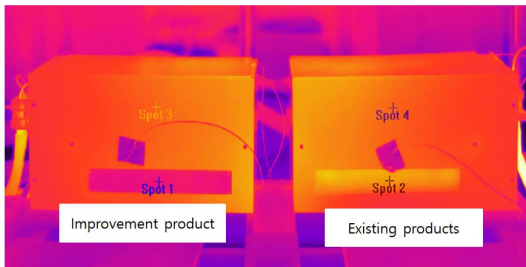


Fig. 4 Experiment equipment configuration

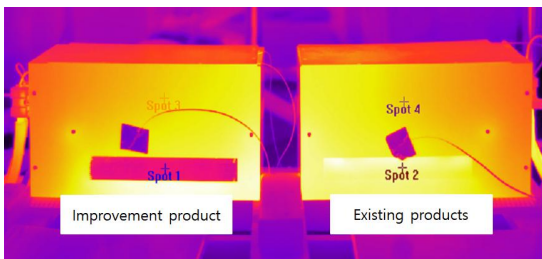
3.2 Experiment and Consideration

실험은 방열 최적설계 기법을 고려하여 진행되었으며 내부 배터리 셀의 과열을 막기 위하여 방열판을 이용하여 외관 케이스로 열전도를 이용하여 셀의 냉각능력이 향상되도록 설계함을 실질적 급속 충·방전 시 방열성능을 검토하였다.

Fig. 5는 실험 시 측정된 열화상 이미지이다 (a)는 1사이클 방전시 이미지로 왼쪽의 ESS는 히트싱크가 사용된 방열설계 제품이며 오른쪽 제품은 기존제품이다. (b)는 3사이클 방열시 이미지이며 충방전 이 반복될 때 온도의 급격한 상승을 이미지로 보여주고 있다. Fig. 6은 열화상 카메라로 측정된 온도 그래프로 히트싱크 적용제품이 급속 충방전 시 셀의 온도가 기존제품 대비 3°C가 낮음을 확인 할 수 있다. BMS로 측정된 셀의 온도와 배터리 충·방전은 Fig. 7에 나타내고 있으며 충·방전 반복시 방열설계 제품과 기존제품의 셀의 온도 차이를 보여주며 기존제품은 반복 충·방전시 급격한 온도상승으로 51°C 까지 상승됨을 볼수 있으며 방열설계 제품은 약 2.3°C가 낮음을 확인 할 수 있다.

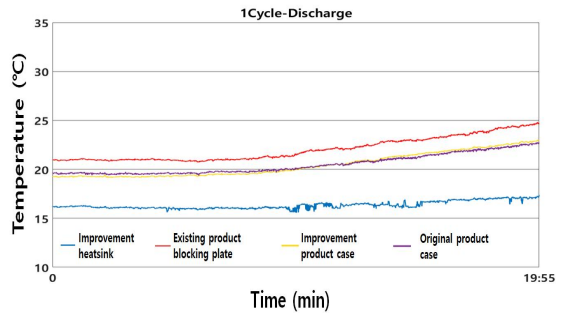


(a) 1 Cycle-discharge thermal image

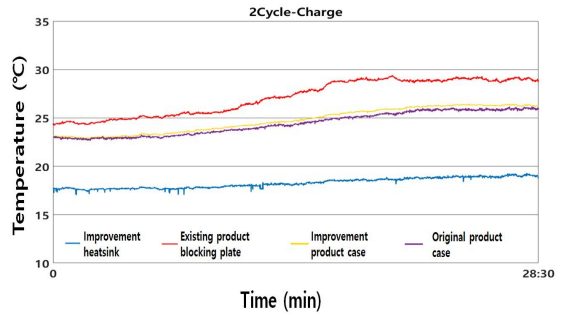


(b) 3 Cycle-discharge thermal image

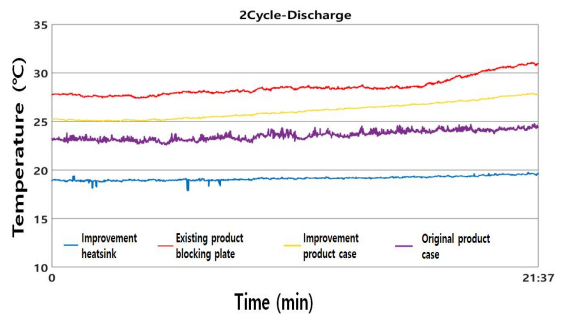
Fig. 5 Infrared thermography image



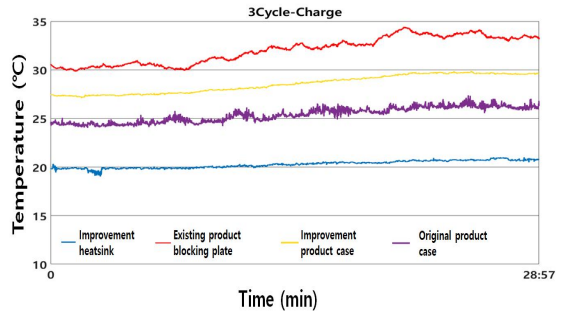
(a) 1 Cycle-discharge



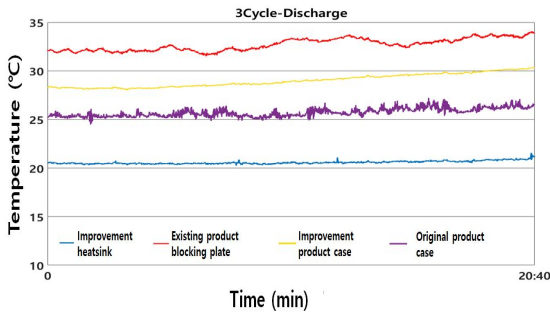
(b) 2 Cycle-charge



(c) 2 Cycle-discharge

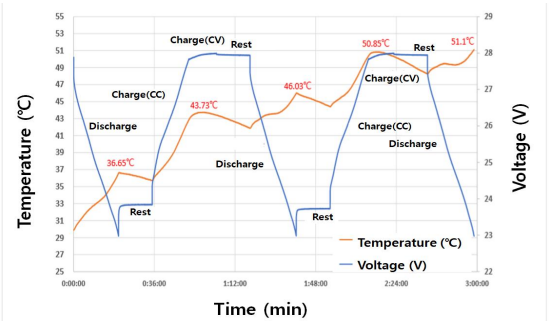


(d) 3 Cycle-charge

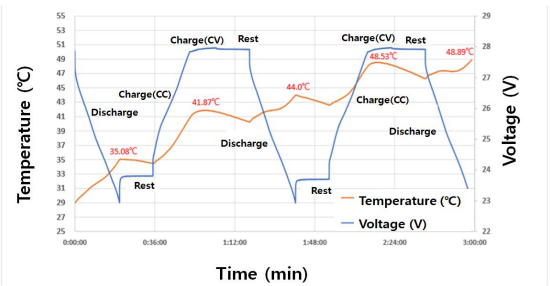


(e) 3 Cycle-discharge

Fig. 6 Infrared thermography temperature graph



(a) Heatsink unused cycle



(b) Heatsink une

Fig. 7 BMS measuring graph

4. 결론

ESS 방열설계 검증 결과 히트싱크를 활용하여 셀의 온도를 ESS케이스로 열전도를 통한 방열을 통한 급속 충·방전 시 방열설계가 효과가 있다. ES실험결과 히트싱크 적용제품이 급속 충 방전

시 셀의 온도가 기존제품 대비 3°C가 낮음을 확인할 수 있으며, 방열설계 제품은 히트싱크를 통한 냉각으로 히트싱크부의 온도는 낮으며 대류를 통하여 가열되는 외관 케이스는 높은 온도를 보이며 셀의 온도를 외관 케이스로 효율적으로 전달하여 냉각효율을 높임으로 ESS의 폭발 위험성을 낮출 수 있을 것이다.

기존제품은 외관 케이스보다 플레이트 부분이 온도가 높아짐을 볼 수 있다. 이는 계속되는 충 방전 시 셀이 방열을 못하여 화재 위험이 있을 것으로 사료된다.

더욱 세분화된 방열설계와 열전도 물질 분석등을 통하여 ESS의 화재 또는 폭발이 없는 비폭발성 ESS개발이 가능할 것이다.

후 기

본 연구는 중소벤처기업부와 한국산업기술진흥원의 “지역기업 혁신성장 지원(R&D, P058300030)”사업의 지원과 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임.(P0002092, 2020년 산업전문인력역량강화사업)

REFERENCES

1. Kim, J. G., “Infrared Thermographic Monitoring for Failure Characterization in Railway Axle Materials,” The Korean Society for Nondestructive Testing, Vol. 30, No. 2, pp. 116-120, 2010.
2. Gao, J. C., Kim, J. Y., “Simulation for Improvement of Temperature Distribution Inside Refrigerator,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 12, pp. 98-103, 2019.
3. Roh, C. S. and Jung, Y. S., and Lee, G. I., and Kim, J. Y., “Integrity Evaluation By IRT Technique And FEM Analysis of Spur Gear,” Journal of the Korean Society of Tribologists & Lubrication Engineers, Vol. 32, No. 4, pp. 113-118, 2016.

4. Park, K. H., "A Study on the Fault Detection of Auto-transmission according to Gear Damage," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Vol. 18 No. 1, pp. 47-56, 2008.
5. Lee, S Y., "Crown Design and Tooth Contact Analysis for the Spiral Bevel Gears," Journal of the Korean Society for Precision Engineering Vol. 1999, No. 11, pp. 546-550, 1999.
6. Lee, G. I., "Hybrid large special gear optimum design and reliability evaluation," Chosun university, master's thesis, 2017.
7. Choi, C. J., Gao, J. C., Kim, J. Y., "Research on the Relationship between Thermoelectric Module with Defects and Thermal Performances," The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 4, pp. 125-133, 2016.
8. Jung, Y. S., Roh, C. S., Kim, J. Y., Lee, G. I., "Reliability Evaluation of a Motor Core Applied Ultrasound Infrared Thermography Technique," The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 4, pp. 60-66, 2016.
9. Jung, Y. S., Lee, G. I., Kim, J. Y., "Study on Optimal Design of F-Apron of Vehicles by Multi-material Bonding," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 2, pp. 102-107, 2019.