

실내 에너지저장시스템 공조시스템의 열적 거동에 관한 연구

김준영¹⁾ · 최낙삼²⁾ · 김진택³⁾*

Thermal Behavior of Air Conditioning System in an Indoor Energy Storage System

Junyoung Kim¹⁾ · Naksam Choi²⁾ · Jintaek Kim³⁾*

Received 20 October 2020 Revised 14 December 2020 Accepted 30 December 2020 Published online 10 February 2021

ABSTRACT The energy use is increasing as the quality of human life improves, and research on the efficient use of energy in ESS (Energy Storage System) is ongoing. An air conditioner is required for the efficient use of an ESS, as are data on the distribution of the temperature of the latter based on the capacity of the air conditioner. In the absence of an air conditioner, the battery of the ESS reaches its maximum temperature of 40°C after 2 h. When an air conditioner is present, the temperature of the battery stabilizes as the capacity of the former increases.

Key words ESS(에너지 저장장치), CFD(전산유체역학), Battery(배터리), Air conditioner(공조장치), Structure analysis(구조 해석)

1. 서론

삶의 질이 향상되면서 에너지의 사용이 증가하고, 정부의 정책으로 신재생에너지의 활용이 넓어지고, 특히 에너지의 자급이 필요한 지역에서의 신재생에너지의 활용이 중요하게 인식되고 있다. 신재생에너지의 운용이 효과적으로 활용되기 위해서는 에너지저장장치(Energy Storage System, ESS)의 활용으로 전력사용량이 적은 특정 시간대에 에너

지를 저장하고, 전력피크 소비 시간대에 저장된 에너지를 사용함으로써, 비용절감과 동시에 유사시 대비전력으로 활용하는 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 다양한 종류의 ESS 장치들이 연구되고 있다.^[1]

신재생 에너지원으로 태양광과 풍력이 많이 사용되고 있고, 최근에는 수상 태양광의 설치로 태양광의 활용이 넓어지고 있다. 그러나 태양광은 에너지 밀도가 낮고 사용 환경에 많은 제약을 받으며, 풍력은 정확한 출력 예측이 불가능하여 출력의 변동률이 높은 특성 때문에 계통연계 시 여러 가지 문제를 일으킬 수 있다. 급격한 출력변동은 계통 전압 및 주파수의 변동을 초래하고 에너지 출력을 예측할 수 없음은 태양광과 풍력 등의 신재생 에너지원이 생산해 낼 수 있는 에너지만큼의 예비력을 상시 대기해야 한다는 불편함이 발생한다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 다양한 연구가 이루어졌으며 대다수의 연구가 에너지 저장시스템 ESS

1) Senior Researcher, New & Renewable Energy Material Development Center

2) Researcher, New & Renewable Energy Material Development Center

3) Professor, Division of Mechanical System Engineering, Jeonbuk National University

*Corresponding author: kjtaek@jbnu.ac.kr

Tel: +82-63-270-2367 Fax: +82-63-270-2388

를 신재생 에너지와 복합연계 운영하는 방법에 집중되어 있다. ESS의 구성 역시 다양한 에너지 저장 매체를 이용하는 방법이 연구되고 있다.^[2,3] 신재생에너지의 보급 확산과 실시간 전력 거래가 동시에 진행되는 스마트 그리드 구현을 위해서도 이러한 기술은 필요하게 되었다.

또한 소요전력의 피크 값을 감소하고 안정적인 전력사용을 유도하기 위하여 잉여에너지 발생과 발전 단가가 낮은 에너지 사용으로 저장하고 필요시에 사용할 수 있도록 에너지 저장장치 시스템을 구축하면 해결을 유도할 수 있다.^[4,5]

중/소형 병합 발전용 저장장치의 경우에는 배터리가 정해진 공간 내부에 적층되어 있고, 잉여 전력이 발생하게 되면 배터리에 충전되는 시스템을 가지고 있다. 내부에 적층되어 있는 배터리는 충전과 방전이 지속되면서 배터리에서 발열이 발생하게 된다. 개개의 발열은 작지만 대단위의 배터리가 적은 공간에 위치하게 되면 내부 발열에 의한 국부적인 온도 상승으로 인해 배터리의 화재 및 효율에 영향을 미치게 된다. 특히 배터리의 화재를 예방하기 위하여 건물 등의 내부 공간에 설치되어 있는 저장장치의 경우에는 소방법에 의해 배터리의 개수와 설치가 제약을 받게 된다. 그러나 이러한 상황에서도 배터리의 적층에 의해 국부적으로 높은 온도가 형성되어 냉각이 필수적으로 필요하게 된다. 내부에 설치되어 있는 공조장치는 또 다른 에너지가 필요하게 되므로 적절한 공조장치의 선정이 필요하다. 이에 대해 정해진 공간에서 냉각을 위한 유동 연구는 주로 냉장 컨테이너에 국한되어 연구가 진행되고 있고, 전산 유체역학이 적용되어 내부의 구조에 대한 유동 연구가 있다.^[6~9] 그러나 건물 내부에 ESS와 같이 열원이 있고, 이를 냉각시키기 위한 공조장치의 영향에 대해서는 연구가 진행되지 않아 적절한 공조장치의 선정을 위한 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 건물 내부에 소방법에 의해 설치되는 ESS에서 발열되는 에너지를 공조장치의 유무에 의해 열 유동을 해석해 보고자 한다. 또한 공조장치의 용량에 따른 배터리의 온도 분포를 확인하여 용량에 대한 배터리의 온도 안정화에 대해서 기초 데이터를 확보하여 공조장치의 선정에 기초 데이터로 활용하고자 한다.

2. ESS 해석 모델

2.1 해석 모델

본 연구에 사용된 건물 내부의 ESS 구성은 Fig. 1에서 보여주고 있다. 건물 내부에 배터리(386 mm × 96 mm × 579 mm) 10개가 1개의 set(높이 1284 mm)로 되어 있고, 3개의 set은 가운데 내화벽(두께 150 mm)이 위치해 있는 구성으로 되어 있다. 건물 내부의 배터리 위치는 Fig. 2와 같이 소방법에 의하여 위치해 있다. 배터리 전면부는 벽과 거리를 두고 있으며, 건물 내부에는 4개의 set으로 구성되며 내부의 중심을 기점으로 서로 배터리의 전면부가 서로 마주보게 대칭적으로 위치해 있다. 내화벽은 내화재질로 구성되고, 배터리보다 500 mm 높게 설계가 되어 배터리의 화재를 차단하는 역할을 하게 된다.

배터리에서는 유희전력에 의한 충전과 전력부하시의 방전이 반복적으로 진행되면서 배터리에서 발열이 발생하게 된다. 배터리는 적층으로 쌓여 있어서 발생하는 발열이 배터리 밖으로 원활히 방출되지 않고 배터리 사이에서 쌓이

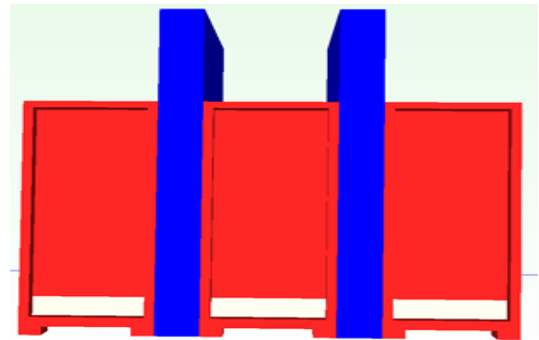


Fig. 1. Battery set

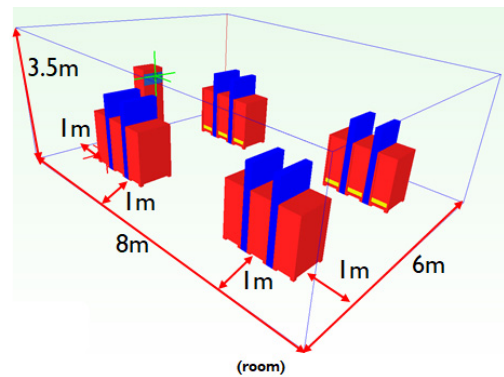


Fig. 2. Battery location inside the room

게 되고, 이를 냉각하기 위해 건물 내부에는 공조장치를 설치하여 대류 냉각을 하게 된다. 본 연구에 사용되는 공조장치는 건물 내부의 가운데 벽면에 위치해 있으며, 배터리 내부에서 발생하는 발열이 배터리 케이스에 열전도하게 되고, 배터리 외부에서는 공조장치에 의한 강제 대류로 방열하게 된다.

소방법에 의해 내부의 ESS의 용량은 제한이 되어 있으며, 이를 기준으로 배터리의 위치와 개수를 정하였다.

2.2 해석 조건

본 해석에 사용된 물성은 Table 1에서 보여주고 있다. 배터리 케이스의 재질은 steel로 되어 있고, 건물의 벽면은 cement로 되어 있다. 내부의 배터리는 충전과 방전을 반복하면서 배터리 내부의 온도가 올라가게 되고, 배터리의 원활한 운영을 위해서는 공조장치에 의한 배터리 방열이 필요하다. 먼저 공조장치의 냉각이 없는 상태에서 배터리의 발열에 대한 해석을 진행하고, 6,000 W와 13,000 W의 공조장치가 가동될 때 동일한 조건에서 내부 배터리의 발열에 대해서 확인하여 공조장치의 선택 시 적정한 용량을 선택하여 활용할 예정이다. 내부의 유동은 공기 유동이며, 공조

Table 1. Material property

Material	Value	
	Density (kg/m ³)	Thermal conductivity (W/M k)
Steel	2,000	80
Battery	8,930	385
Cement	2,000	1.4
Fire resisting wall	400	0.15

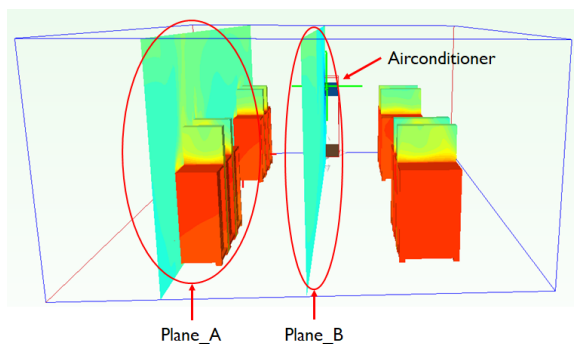


Fig. 3. Plane section

장치의 온도는 20°C로 운영이 된다. 내부 배터리의 온도와 공조장치에 의한 냉각과 공기 유동을 확인하기 위하여 Fig. 3과 같이 내부를 2개의 단면에서 온도와 유동 분포를 확인해볼 것이다.

내부 배터리와 공조장치에 의한 유동을 해석하기 위하여 범용 해석 프로그램인 FloTHERM V.9를 사용하였다.^[10]

3. 해석결과

배터리는 정해진 온도 이상으로 상승하면 운영이 불가능하므로, 동일한 조건에서 공조장치의 가동 없는 상태에서 배터리의 발열에 대해서 살펴보고, 공조장치의 용량을 변화시켜 배터리와 내부의 공기 유동에 대해서 살펴본다.

3.1 공조장치 용량 0 W

배터리의 충전과 방전이 반복되면서 배터리 내부의 온도 변화를 살펴보기 위하여 8시간동안 공조장치의 가동이 없는 상황에서 배터리의 발열 상태를 확인하였다. Fig. 4에서는 배터리에서 시간에 대한 발열 상태를 보여주고 있다. 8시간이 경과하면 배터리의 온도가 70°C 이상 상승하므로 최대 온도를 기준으로 각 시간마다의 온도 분포를 보여주고 있다. 배터리의 온도 분포를 보면 하부보다는 상부에서 높은 온도를 보이고 있고, 측면보다는 가운데 부분에서 높은 온도를 보이고 있다. 이는 배터리의 발열로 인해 온도가 상승하여 공기의 부력에 의한 대류 냉각에 의한 효과로 보이며, 배터리의 상부로 갈수록 효과가 떨어져 상부 쪽이 하부보다 높은 온도 분포를 형성하고 있음을 보이고 있다. 시간이 지속되면서 배터리의 발열은 지속되고 있고, 이에 따라 배터리의 온도 상승이 꾸준히 발생하고 있음을 보이고 있다.

배터리의 온도를 파악하기 위하여 비교적 온도가 높게 형성되는 2개의 지점을 선택하여 시간에 대한 온도를 확인해 보았다. Fig. 5는 Fig. 4를 참조하여 배터리의 온도가 높게 형성되는 2개의 지점 위치를 보여주고 있다.

배터리의 충전과 방전에 대해 2개의 지점에서 시간에 따른 배터리의 온도 분포를 Fig. 6에서 보여주고 있다. 2개의 지점에서 보여 지는 온도 분포는 거의 유사하게 나타나고

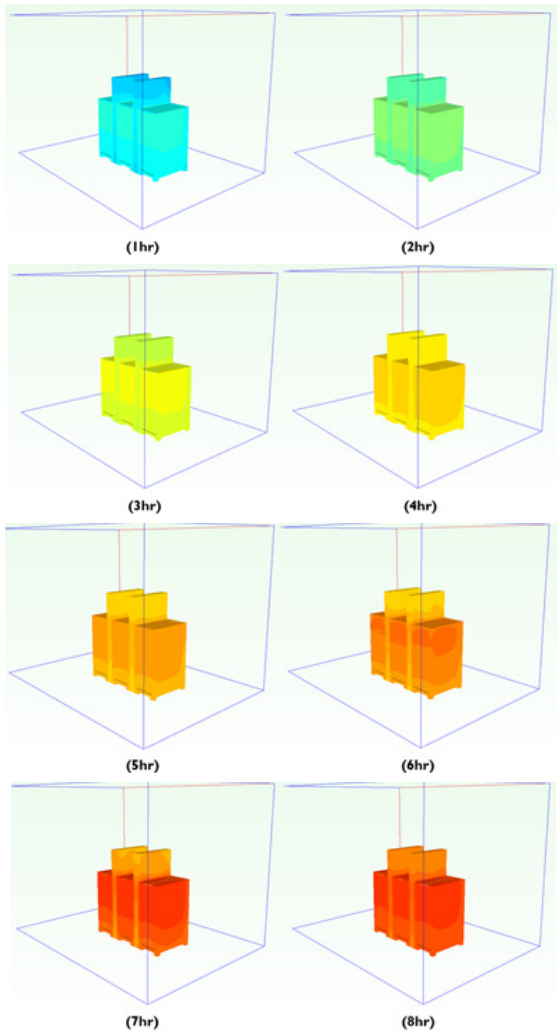


Fig. 4. Battery temperature distribution

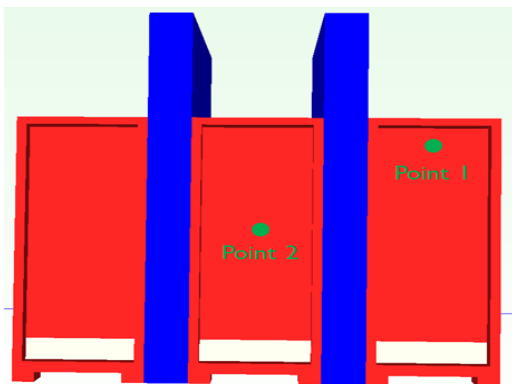


Fig. 5. Temperature point at battery set

있으며, 8시간 지나면 약 71°C로 상승하고 있음을 보이고 있다. 배터리의 시간을 2시간 간격으로 표기하였는데, 2시간이 지나면 40°C까지 상승하고, 이후 2시간이 지나면 약

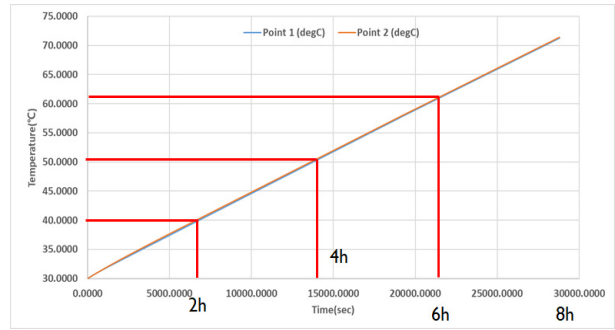


Fig. 6. Battery temperature for time

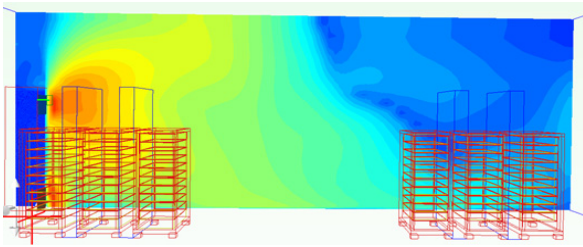
10°C씩 높아지는 경향을 보이고 있다. 배터리의 안정적인 작동을 위하여 온도의 한계를 40°C로 정하게 되면 2시간 이후에는 반드시 공조장치의 가동이 필요함을 알 수 있다. 이는 초기 온도가 30°C인 경우에서 분포이며, 여름과 같이 주변의 온도가 높은 경우에는 한계 온도의 도달 시간이 더욱 짧아 질것으로 예상된다.

3.2 공조장치 용량 6,000 W

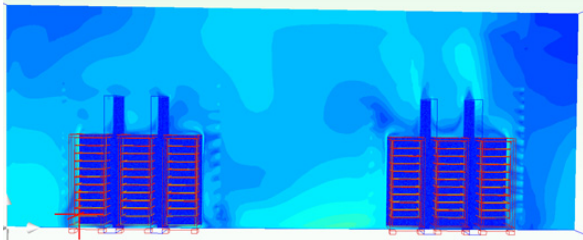
배터리의 발열에 대한 온도 안정화를 위하여 공조장치의 용량을 6,000 W로 설정하여 배터리 가운데 위치에서 공조장치를 가동하였다. 공조장치는 20°C의 온도로 배터리를 대류 냉각하게 된다. Fig. 3의 배터리에서의 단면과 공조장치가 설치되어 있는 단면에서 유동과 온도 분포를 살펴본다.

Fig. 7에서는 단면에서의 속도 분포를 보여주고 있다. (a)에서는 Plane A에서 공조장치가 설치되어 있는 가운데 단면에서의 속도 분포를 보여주고 있으며, 좌측에 공조장치에 의한 유동이 상부에서 발생되고 있고, 좌측 하부로 공조장치에 유입되는 형태로 공조장치에 의한 유동이 발생되고 있음을 보여주고 있다. (b)에서는 배터리의 단면에서 유동을 보여주고 있으며, 배터리와 내화벽에 의해 유동이 불규칙적으로 발생하고, 배터리와 내화벽 주변에서 유동의 방해가 있어 (a)보다 상대적으로 낮은 속도의 분포를 보이고 있다.

Fig. 8에서는 배터리의 온도 분포와 단면에서의 온도 분포를 보여주고 있다. (a)에서는 배터리 set에서 온도 분포를 보여주고 있으며, 유동에 의해 배터리의 온도가 영향을 받고 있음을 보이고 있다. (b)의 Plane A에서는 공조장치

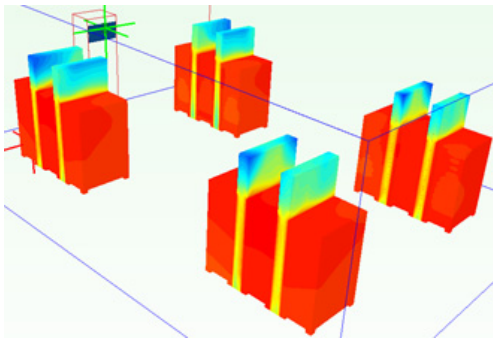


(a) Plane A

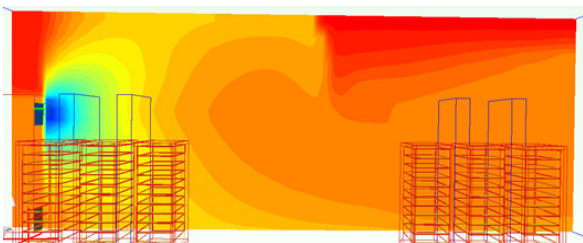


(b) Plane B

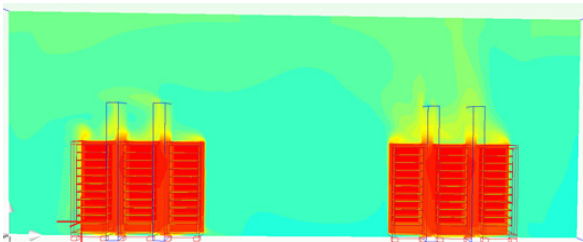
Fig. 7. Velocity contour at 6,000 W



(a) Battery set



(b) Plane A



(c) Plane B

Fig. 8. Temperature contour at 6,000 W

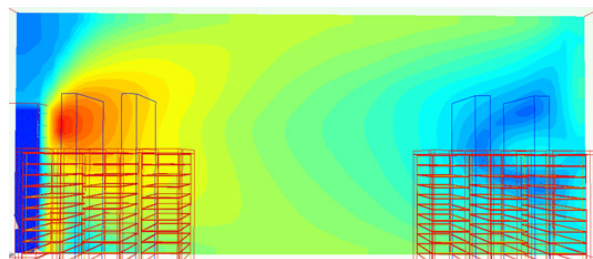
에 의해 지속적으로 20°C의 공기가 토출되고 배터리가 없어 거의 균일한 온도 분포를 보여주고 있다. (c)에서는 배터리의 단면에서 온도 분포를 보여주고 있으며, 배터리의 온도는 약 23°C에서 28°C의 온도 분포를 보이고 있다. 배터리의 온도는 중심의 온도가 상대적으로 높게 형성되고 있음을 보이고 있다.

3.3 공조장치 용량 13,000 W

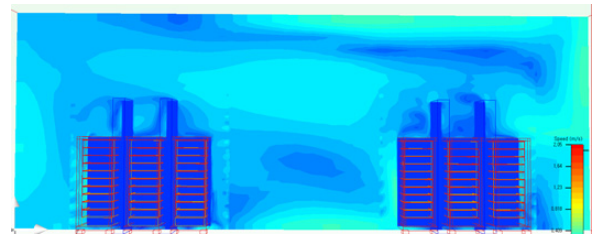
배터리의 온도 안정화를 위하여 공조장치의 용량을 13,000 W로 용량을 상승하여 가동하였다. 공조장치의 냉각 성능이 향상된 대류로 배터리를 대류 냉각하게 된다. 배터리에서의 단면과 공조장치가 설치되어 있는 단면에서 유동과 온도 분포를 살펴보았다.

Fig. 9에서는 단면에서의 속도 분포를 보여주고 있다. (a)에서는 공조장치가 설치되어 있는 가운데 단면에서의 속도 분포를 보여주고 있으며, Fig. 7의 유동과 비슷한 분포를 보이고 있다. 공조장치가 설치되어 있는 가운데 공간에서 매우 큰 유동이 발생하고 있다. (b)의 단면에서는 배터리와 내화벽에 의해 유동이 영향을 받아 불규칙한 유동이 발생하고, 배터리와 내화벽 주변에서 상대적으로 낮은 속도의 분포를 보이고 있다.

Fig. 10에서는 배터리의 온도 분포와 단면에서의 온도



(a) Plane A



(b) Plane B

Fig. 9. Velocity contour at 13,000 W

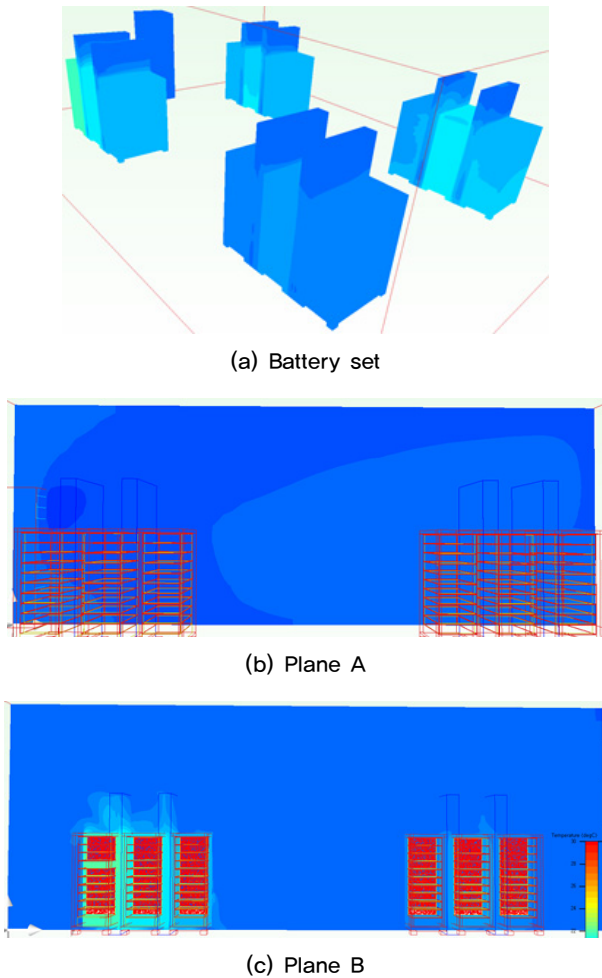


Fig. 10. Temperature contour at 13,000 W

분포를 보여주고 있다. 전체적으로 Fig. 8보다 공조장치의 용량이 상승하여 낮은 온도 분포를 보여주고 있다. (a)에서는 배터리 set에서 온도 분포를 보여주고 있으며, 공조장치의 용량 상승으로 상대적으로 안정적인 온도 분포를 보여주고 있다. (b)의 Plane A에서는 공조장치의 용량 상승으로 온도의 분포가 거의 일정한 분포를 유지하고 있다. (c)에서는 배터리의 단면에서 온도 분포를 보여주고 있으며, 배터리의 온도는 약 21°C에서 22°C의 온도 분포를 보이고 있다. 배터리의 온도는 중심의 온도가 상대적으로 높게 형성되고 있지만, 공조장치의 용량 상승으로 전체적인 온도가 공조장치의 토출 온도에 가까워져 안정적인 온도 분포를 보이고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 내부 건물에 소방방법을 적용하여 ESS를 설치하고, 배터리의 발열을 공조장치의 유무와 용량 변경에 따른 내부의 온도와 유동 분포를 해석하였다. 내부 배터리의 온도 안정화를 위하여 공조장치의 선택은 필수적이고 적절한 용량 선정을 위하여 해석을 수행하여 다음과 같은 연구 결과를 얻었다.

- 1) 공조장치의 무작동일 경우에 약 2시간 이후에 배터리의 온도가 40°C 정도로 상승하고 있음을 보여, ESS의 원활한 활용을 위해서는 40°C 도달전인 2시간 이후에는 공조장치의 가동으로 온도 안정화가 필요함을 알았다.
- 2) 공조장치는 스탠드 형으로 설치를 기준으로 배터리의 가운데 위치에 설치가 유리하며, 위치가 편중될 경우 공조장치 반대 측면에서 유동이 원활하지 않아 해당 영역의 냉각에 좋지 않은 영향을 미칠 것으로 예상된다. 또한 공조장치의 유동 토출 방향을 조정하여 내부 유동이 원활할 수 있는 방향 설정이 필요하다.
- 3) 공조장치의 용량에 따라 배터리의 온도 안정화가 영향을 받음을 알 수 있었다. 용량이 6,000 W일 경우 약 23°C~28°C의 분포를 보이고, 13,000 W일 경우 약 21°C~22°C의 분포를 보이고 있다. 지속적으로 발열할 경우 배터리의 냉각에는 용량이 큰 공조장치가 유리하게 작용함을 알 수 있다. 배터리의 원활한 작동을 위해서는 적절한 온도 범위가 필요하고 이를 위한 공조장치의 용량 산정의 기준으로 활용할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 경제협력권산업육성사업 R&D 사업의 “광 AMI 기반 부하환경 적용 다중 MG 시스템 상용화 기술 개발(개발기간 : 2018.04.01.~2020.12.31.)” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] Kim, S.-H., Kim, T.-H., Kim, Y.-H., In, D.-S., Kwon, B.-K., and Choi, C.-H., 2012, "A development of 2MVA battery energy storage system", *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, **17**(2), 174-181.
- [2] Kim, J.-H., Kang, M.-S., and Kim, E.-H., 2011, "Method of minimizing ESS capacity for mitigating the fluctuation of wind power generation system", *J. Korean Solar Energy*, **31**(5), 119-125.
- [3] Park, Y.-J., Jung, T.-G., Park, J.-W., and Yi, J.-S., 2015, "Research on ESS with solar power for K-BEMS", *Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers Conference*, pp. 15-17.
- [4] Kim, B.-G., Lee, S.-C., Kim, C.-G., and Lee, S.-B., 2011, "An analysis of efficiency and government policies of ESS", *Proceedings of the Korea Society for Railway Conference*, pp. 2373-2382.
- [5] Kim, J.H., and Jang, J.O., 2014, "A study on the economic analysis of the energy storage system in customer", *New. Renew. Energy*, **10**(3), 47-54.
- [6] Bae, J.-H., Moon, K.-Y., and Cho, S.-H., 2011, "ESS Technologies for Increase the efficiency of renewable energy", *Proceedings of the KOSECC Conference*, p. 97.
- [7] Choe, S.-B., 2013, "The effect of cavity behind rectangle bluff body on downstream flow field", *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, **15**(3), 447-452.
- [8] Cho, D.-H., Oog, S.-K., and Kim, J.-G., 2014, "A study on flow characteristics in air supply room for container vessels by Numerical Simulation", *Proceedings of the Korean Society of Mechanical Technology Conference*, pp. 49-50.
- [9] Yun, H.-S., Kwon, J.-K., Jeong, H., Lee, H.-D., and Kim, Y.-K., 2008, "Design of heat and fluid flow in cold container using CFD simulation", *J. Biosyst. Eng.*, **33**(6), 396-403.
- [10] FloTHERM V.9 Document, 2012, <https://www.mentor.com/products/mechanical/flotherm/flotherm/>.