



[2017-3-SG-010]

# 건물 에너지관리용 NANI™ 전기저장장치 실증을 통한 사업화 모델 연구

차병학<sup>1)</sup> · 신상균<sup>1)</sup> · 정창기<sup>1)</sup> · 김우성<sup>1)</sup> · 문고영<sup>1)\*</sup>

## Demonstration Study of ESS to Develop Energy Management Solutions for Commercial Buildings Located in Urban Areas

Byunghak Cha<sup>1)</sup> · Sang-Kyun Shin<sup>1)</sup> · Chang-Gi Jung<sup>1)</sup> · Woo-Sung Kim<sup>1)</sup> · Go-Young Moon<sup>1)\*</sup>

Received 2 June 2016 Revised 25 October 2016 Accepted 26 December 2016

**ABSTRACT** As an Energy Storage Systems (ESS) can be a possible emergency power source, the market for ESS has increased to respond to the energy demands in commercial buildings. To demonstrate the ESS for commercial buildings located in urban areas, the Sodium Nickel Chloride (NANI™) battery systems was chosen because it is chemically safe. The system has been operated for more than a year to verify the stability and profitability. Therefore, a business model of an ESS for commercial buildings is proposed based upon the long-term actual proof operation.

**Key words** ESS(전기저장장치), Energy Management(에너지관리), Demand Response(수요반응)

### 1. 서론

전기저장장치(ESS)는 사용 용도에 따라 주파수 조정용 ESS, 신재생에너지 연계용 ESS, 그리고 수요관리용 ESS 등으로 구분한다. 이 중 수요관리용 ESS는 최근 비상전원용으로 사용이 가능해 집에 따라 건물의 피크수요 관리와 동시에 비상 시 주요부하 등에 전력을 공급하는 용도로 활용될 수 있어 공공건물을 중심으로 수요 증가가 예상된다<sup>[1-5]</sup>. 이에 본 연구는 건물 에너지관리 용도로 안전성이 높은 Sodium Nickel Chloride(이하 NANI™) 배터리를 사용한

ESS를 도심지 대형 건물 내에 1MWh 용량으로 설치하여, 1년 이상 기간 동안의 실증 운영을 통해 운영 안정성 및 경제성을 검증하였다. 또한 ESS의 운영 패턴을 변경함에 따라 배터리시스템 효율 및 전력변환시스템(PCS) 효율의 변화 추이를 확인함으로써 가장 효율적인 운영 패턴을 선정하였으며, 건물의 수요 패턴에 따라 실제 현장에서 적용할 수 있는 단순하고, 효과적인 운영 방법을 찾고자 계절별로 다르게 적용되는 전기요금을 운영 패턴에 반영하여 실제 전기요금 절감 금액을 확인하였다. 이러한 운영 결과를 토대로 건물 에너지관리용 ESS의 수익모델을 분석하였고, 건물용 ESS에 필요한 기능 및 제도 등을 추가 검토함으로써 사업모델(Business Model)을 제안하고자 한다.

1) Green Energy Technology Institute, Technology Strategy Center, POSCO ENERGY Co., Ltd.

\*Corresponding author: gymoon@poscoenergy.com  
Tel: +82-32-550-8126 Fax: +82-32-550-8483

## 2. ESS 실증사이트 구축

건물용 ESS의 실증 Reference를 확보하고자 상주인원 5,000명 이상의 도심지 대형 상업용 건물을 선정하였고, 구성물질의 화학적인 특성 상 안전성이 뛰어나 옥내 설치가 가능하고, 수명에 장점이 있는 ESS를 선택하여 빌딩 지하 비상발전기 사이트에 1MWh급 용량으로 설치하였다<sup>[6-7]</sup>. 또한 PCS 이중설계를 통해 PCS 문제 시에도 ESS 가동이 가능하도록 사이트를 구성해 놓았으며, 건물 관제시스템 상에서 ESS 관제가 가능하도록 PMS(Power Management System)를 구성하였다.

특히, 도심지 대형 건물의 옥내에 설치한 대규모 ESS 실증의 첫 사례로서 계통 안정성, 화재 안전성을 고려하여 ESS와 계통 간 6개 이상의 Circuit Breaker를 추가 설치하여 전기사고로 인한 중요부하를 보호하였고, 만일의 사고를 대비하여 화재감지센서, Smoke Detector 및 CO<sub>2</sub> 소화 설비 등 소방설비를 구비함으로써 사고 시 확산 차단을 위한 안전장치를 추가 마련하였다.

## 3. ESS 시스템 실증 운영 및 평가

### 3.1 NANI™ 배터리 성능평가

본 연구에서 선택한 NANI™ 배터리의 성능을 자체적으로 평가하여 ESS용 전지의 적합성을 확인하고, 건물 수요 관리용 ESS의 최적 성능범위를 도출하기 위해 NANI™ 배

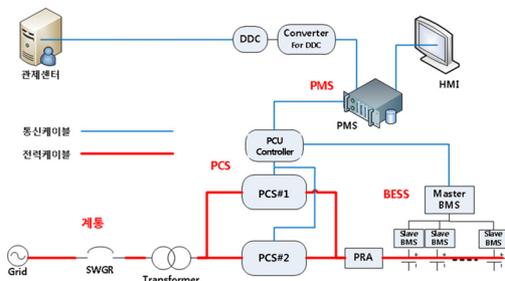


Fig. 1. ESS 실증사이트 계통 구성 단선도

Table 1. 성능평가에 사용된 상용 배터리 모듈

	단전지 타입 및 에너지밀도	배터리 용량	공칭 전압	동작 온도
사양	NaNiCl <sub>2</sub> 120Wh/kg	23.5kWh	620V	240~300°C

터리 모듈을 선택하여 충방전 시험을 통해 배터리 성능을 평가하였다.

해당 배터리 모듈은 Table 1과 같은 사양으로 충방전 시 배터리 온도에 따른 열방출을 위한 쿨링팬과 내부히터 동작을 모니터링 할 수 있어 배터리 성능을 판단하기에는 적격이기에 시험용 배터리 모듈로 선정하였다. 배터리 모듈의 안정적 제어 및 전기적 보호를 위해 Fig. 2와 같이 자체 시험 벤치를 구성하여 BMS 통신신호 및 배터리상태 파악이 가능한 모니터링 시스템을 추가 구축하였다.

배터리 충방전 시험은 한국전지산업협회 단체표준 'BESS 용 LiB 단전지 및 시스템 성능시험'에 따라 테스트를 수행하였다. 배터리 용량시험의 경우 리튬이온 전지의 단체표준을 적용하였을 때 2시간 방전율인 0.5C로 방전시험을 수행해야 하지만, NANI™ 전지 제조사는 4시간 방전율인 0.25C를 권장하기 때문에 0.5C와 0.25C 두 가지 조건으로 방전 시험 수행하였고, 충전의 경우에도 제조사 권장 조건인 0.25C 기준의 CC-CV 절차에 따라 시험을 진행하였다. 용량시험 결과 배터리 사용 가능영역인 90% DOD(Depth of discharge, 방전 심도)에서 제조사 사양에 준하는 약 21kWh를 사용 가능한 것으로 확인하였다.

또한 한국에너지공단 '고효율에너지인증대상기자재의 인증기술기준'을 참고하여 배터리 효율시험을 수행하였다. 배터리 모듈의 온도제어를 위해 내장된 쿨링팬 및 히터 소모 전력에 따라 단일 충방전 시험의 경우 약 90%를 상회하였고, 1일 1회 충방전을 적용하였을 경우에도 80% 이상의 충방전 효율을 확인할 수 있었다. 이에 따라 NANI™ 배터리 모듈 최적 방전율은 C/4 이하로 소모전력을 고려할 경우 모듈의 1일 충방전 사이클 효율은 약 85%인 것을 확인하였

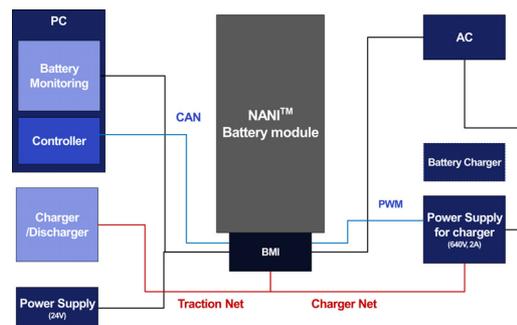


Fig. 2. 자체 구성한 배터리 시험 벤치

다. 그리고 NANI™ 배터리의 충방전 시 배터리 온도에 따라 충전 또는 대기 시 소모되는 히터 전력 사용량 등 BOP (Balance of Plant)의 소모 전력이 배터리 효율에 영향을 줄 수 있어 배터리 운용 프로파일의 개발이 매우 중요하다. Fig. 3과 같이 배터리 모듈의 온도에 따른 히터의 거동을 분석함에 따라 방전 후 적절한 대기시간 및 배터리 충방전 시작 온도 등을 확인하여 실증 시 ESS 운영 프로파일에 반영하였다.

### 3.2 실증 운영 및 분석

앞서 확인한 NANI™ 배터리를 건물용 ESS로 사용하기 위해 다음과 같이 통합 시스템을 구축하여 실증 Reference

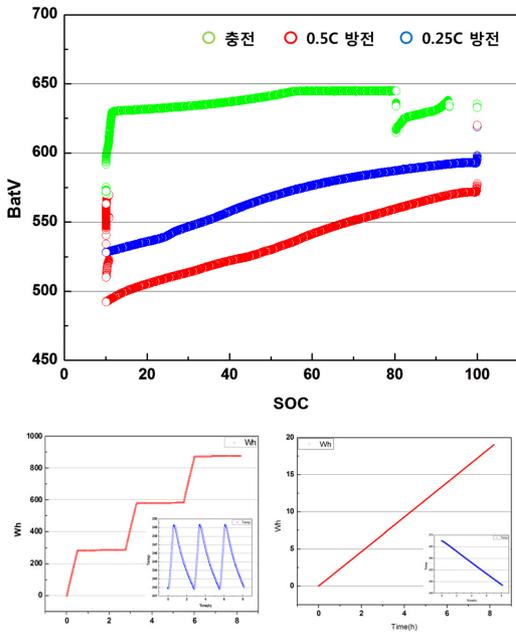


Fig. 3. C-rate 별 NANI™ 배터리 충방전 곡선(상) 및 배터리 모듈의 대기상태 소모전력(하좌: 온도 안정화 상태에서의 소모전력, 하우: 방전 후 안정화 상태에 진입하기 전까지의 소모전력)

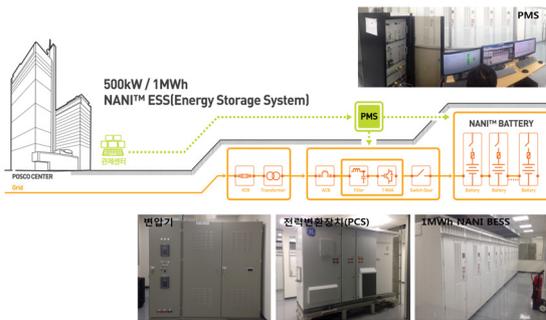


Fig. 4. ESS 실증사이트 구성현황

를 확보하였다.

- 1 MWh NANI™ ESS 통합 실증을 통해 ESS 요소 기기 제작 및 실증
- 전기저장장치 통합운영시스템 개발 및 운영 기술 개발 또한 ESS의 출력변화에 대한 배터리 효율 및 시스템 효율을 확인하여 건물용 ESS 실증 운영 시 얻을 수 있는 수익 효과를 검증하였다.

#### 3.2.1 ESS 운영조건 검증

건물용 ESS의 운영조건을 고려하여 1일 1회의 충방전을 기준으로 ESS의 최대 충방전 효율을 확보할 수 있는 운전 조건 및 최고 경제적 효과를 낼 수 있는 운전조건을 확보하고자 다음과 같은 충방전 시험 프로파일을 도출하였다(Fig. 5 참조). 즉, 최저 요금시간에 ESS를 충전하여, 최대요금 시간에 ESS를 방전하는 데에 ESS 방전율을 조정하여 1일 동안의 배터리 효율 및 시스템 효율을 측정하였다.

그 결과 다음과 같은 충방전 시험 결과를 확인하였는데, 1일 1회 충방전의 경우 충방전 효율은 약 85±1%으로 제조사 data sheet상의 충방전 효율인 85%를 확인하였으며, PCS 효율 또한 정격 용량 1MW의 1/4 이하에서 운전시험을 하였으므로 예측 가능한 결과를 확인하였다. 그리고 시스템 효율은 1일 간 소모된 전체 전력소모량(변압기 효율, BOP 및 모니터링 PC를 포함한 전체 시스템의 효율, 대기 시 소모전력 포함)을 합산한 결과로 수차례 시험 결과 방전 후 대기시간이 길어질수록 시스템 효율이 감소하는 것으로 확인되었다. 이는 NANI™ 배터리 내부 온도 유지를 위한 히터의 소모전력 때문인데, 시스템 효율을 높이기 위해서는 전력요금 뿐만이 아닌 소모전력을 최소화할 수 있는 운영 프로파일 연구가 필요하다는 것을 의미한다.

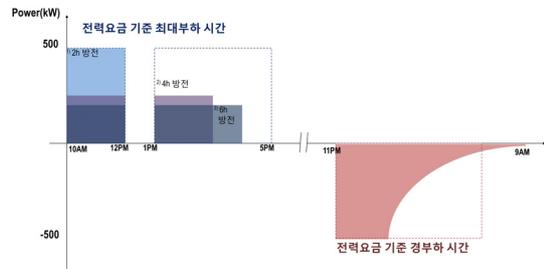


Fig. 5. 실증운영 충방전 프로파일

Table 2. 건물용 ESS의 1일 총방전 시험 결과

방전율	PCS 출력	배터리 효율	PCS 효율	시스템 효율
4시간 방전율	250kW	84.8%	95.9%	73.5%
6시간 방전율	167kW	85.9%	94.9%	73.6%

### 3.2 시스템 운영 효율 분석

앞서 정리한 시험결과와 같이 포스코센터 ESS는 평균 시스템 효율이 75% 내외로 고효율 기기로 구분되는 리튬이온배터리 ESS의 BOP를 포함한 시스템 효율과 비교하면 비슷하거나 약간 낮은 수준이다(리튬이온배터리 ESS의 시스템 효율은 약 75~80% 수준)<sup>[8-9]</sup>.

이러한 시험결과를 바탕으로 NANI™ 배터리 ESS의 총방전 효율을 높이기 위해 총방전 프로파일을 조정하여 배터리 효율 및 시스템 효율을 재 측정해 보았다.

Fig. 6과 같이 1일 1회 총방전 중간에 4시간 방전율로 80% 추가 총방전을 수행할 경우 배터리의 총방전 효율은 약 90%를 상회하였고, 시스템 효율도 약 80%에 도달하였다. 이는 NANI™ 배터리의 총방전 시 일어나는 흡열/발열 반응을 이용하여 온도를 조절하는 방식으로 배터리 내부의 히터 소모전력을 최소화 시키는 방향으로 ESS 운영 프로파일을 변경할 경우, 시스템의 소모전력을 낮출 수 있어 효율 향상 및 수익 증가에 기여하게 된다.

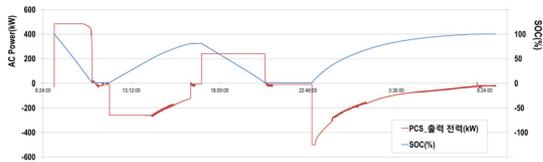


Fig. 6. NANI™ 배터리 총방전 효율 향상 시험

## 4. 사업화 모델 분석 결과 및 결론

앞서 살펴본 건물용 ESS 시험 결과를 사업화로 연결시키고자 현 시점에서의 ESS 시장 별 설치에 따른 경제적인 효과를 계산해 보았다. 기본 조건은 500kW 용량으로 2시간 방전 대응이 가능한 1MWh 설치 비용에 실증 운영을 통해 얻은 운영 비용 및 ESS의 Cycle 수명을 고려하여 15년 평균 손익을 계산하였다<sup>[10]</sup>. 1MWh ESS의 시스템 설치비

용은 총 8억원으로 산정하였고, 전기요금은 일반용 을(300kW 이상), 고압A, 선택II로 선정하였다. 또한 배터리 수명을 고려하여 연 2% 용량 감소 및 90%의 총방전 효율을 고려하였고, 80% 방전심도 및 10% 충전요금 할인 조건을 기준으로 운영 시나리오를 적용하였으며, 이는 배터리 사양별로 차이가 있으나 장수명 리튬이온배터리에서도 동일하게 적용되는 조건이다<sup>[11-12]</sup>.

건물용 ESS의 경제성 분석 결과 ESS를 활용하여 기본요금 절감이 가능한 건물의 경우 기본요금 할인 혜택(Base)에 '16년 3월 공고된 ESS를 이용한 피크절감 시 기본요금 추가 할인(Incentive)을 더했을 경우 및 수요관리사업 참여를 통한 추가 수익(DR 자원의 계약요금, kW당 약 4만원/년)을 추가로 받는 경우(DR)를 구분하여 Table 3과 같이 경제성 분석을 수행하였다.

Table 3. 건물용 ESS의 경제성 분석 결과

구분	전기요금할인 (Base)	기본요금추가할인 (+Incentive)	DR수익 추가 (+DR)
총수익	73백만원/년	102백만원/년	119백만원/년
총비용	75백만원/년	75백만원/년	75백만원/년
IRR	-6.4%	0.5%	4.1%

경제성 분석 결과 '16년 3월에 공고된 에너지산업 지원정책 중 ESS를 이용한 기본요금 추가 할인 시에도 경제성 확보를 위한 추가 수익모델이 필요한 상황이며, 건물의 ESS 자원을 수요관리 자원으로 활용해야만 ESS를 활용한 투자비 회수가 가능할 것으로 판단된다. 하지만 에너지산업 시장에서 ESS에 기대하는 수준으로 산업이 활성화 되기 위해서는 추가적인 수익모델 개발이 필요하며, ESS를 분산자원으로 활용하여 전력계통을 효율화 시킬 수 있도록 전력계통 내 분산자원 통합 운영기술을 도입하는 방향으로 신규 수익모델을 개발해야 하겠다<sup>[13-14]</sup>.

## 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20152010103540).

## References

- [1] Dunn, B. et al., 2011, J. M. Electrical energy storage for the grid: a battery of choices, *Science* 334, 928-935.
- [2] Yang, Z. G. et al., 2011, Electrochemical energy storage for green grid, *Chem. Rev.* 111, 3577-3613.
- [3] Hueso, K. B. et al., 2013, High temperature sodium batteries: status, challenges and future trends. *Energy Environ. Sci.*, 6, 734-749.
- [4] Ha, S. et al., 2014, Sodium-metal halide and sodium-air batteries. *ChemPhysChem* 15, 1971-1982.
- [5] Soloveichik, G. L. et al., Battery technologies for large-scale stationary energy storage, *Annu. Rev. Chem. Biomol.* 2, 503-527.
- [6] Cord-H. Dustmann 2004, Advances in ZEBRA batteries, *Journal of Power Sources* 127, 85-92.
- [7] Li, G. et al. 2016, Advanced intermediate temperature sodium-nickel chloride batteries with ultra-high energy density, *Nat. Commun.* 7:10683 doi: 10.1038/ncomms10683
- [8] Andreas Poullikkas 2013, A comparative overview of large-scale battery systems for electrical storage, *Renewable and Sustainable Energy Review* 27, 778-788.
- [9] Behnam Zakeri et al., 2015, Electrical energy storage systems: A comparative life cycle cost analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42, 569-596.
- [10] Roberto Benato et al., 2015, Sodium nickel chloride battery technology for large-scale stationary storage in the high voltage network, *Journal of Power Sources* Vol. 293, 127-136.
- [11] Thomas Waldmann et al., 2014, Temperature dependent ageing mechanisms in Lithium-ion batteries – A Post-Mortem study, *Journal of Power Sources*, Vol. 262, 129-135.
- [12] 산업통상자원부 보도, 2016, 전기저장장치(ESS) 활용촉진 전기요금제 도입, 산업통상자원부(www.motie.go.kr) 보도자료, 3/22 고시.
- [13] Mahdi Behrangrad 2015, A review of demand side management business models in the electricity market, *Renewable and Sustainable Energy Review* 47, 270-283.
- [14] Kristin Dietrich et al., 2015, Modelling and assessing the impacts of self supply and market-revenue driven Virtual Power Plants, *Electric Power System Research* 119, 462-470.