

정온물류센터 에너지 효율 개선을 위한 통합형 다중 전력변환 시스템 개발

조현빈*, 이원일*, 김지수*, 임승범*
 (주) 이온*

Development of an integrated multi-power conversion system to improve energy efficiency in Temperature-Controlled Logistics Center

Hyun-Bin Jo*, Won-Il Lee*, Ji-su Kim*, Seung-Beom Lim*
 EON Co., Ltd*

ABSTRACT

As the e-commerce market and logistics industry grow rapidly, energy efficiency technology for constant temperature-controlled logistics centers, which consume a lot of power, is an emerging issue. For energy efficiency, power quality, emergency power supply, and distribution efficiency, a number of power conversion systems, such as Low Voltage Direct Current (LVDC), Energy Storage System (ESS), and Uninterruptible Power Supply (UPS), can be configured as the power devices in the center. Considering the Renewable Electricity 100 (RE100) campaign, which aims to use 100% of electricity from renewable energy sources by 2025, Photovoltaic (PV) systems can also be applied. In this paper, we describe the development of a PV, ESS, LVDC, and UPS integrated power conversion system that can build a compact system while solving the power loss problem that appears in multiple power conversion systems.

1. 서론

최근 E-커머스 시장과 배송물류산업의 성장세에 따라 온도변화에 민감한 상품을 일정한 온도로 유지하여 보관 및 유통하는 정온물류센터 조성계획이 급증하는 가운데 대표적인 에너지 다소비 산업에 해당하는 정온물류센터^[1] 적용을 위한 에너지 절감 기술은 주요 논의사항이다. 2050년까지 기업활동에 필요한 전력원의 100%를 신재생 발전원으로 전환하려는 목표인 RE100^[2]에 앞서 30%를 신재생발전원으로 공급하려는 RE30을 목표로 물류센터의 전력 공급원으로 신재생 발전원인 태양광 PV를 적용할 수 있다. 전력품질 향상을 위한 ESS와 정전을 대비한 비상 전원으로서 UPS의 사용 또한 고려된다. 물류센터의 주요 부하로는 공조시스템, 컨베이어 등의 AC 부하와 LED, 전기 수송 트럭의 배터리충전 및 서버 시스템 등의 DC부하로 구분할 수 있으며 기존의 AC배전에 추가로 LVDC 배전을 적용하여 전력변환 손실을 줄일 수 있다. 본 논문에서는 정온물류 에너지 절감 솔루션으로서 전력 변환 효율증대를 위한 통합형 다중 전력변환 시스템을 제안한다.

2. 통합형 다중 전력변환 시스템

2장에서는 통합형 다중 전력변환 시스템의 구성과 기본동작을 설명하고 ESS를 적용한 일간 계통 전력 사용량과 피크-셰이빙을 고려한 제어 알고리즘을 기술한다.

2.1 절 다중 전력변환 시스템 구성

그림 1은 제안하는 통합형 다중 전력변환 시스템의 개념도를 나타낸다. 통합형 다중전력변환 시스템은 PV 시스템, ESS 컨버터, 양방향 인버터 그리고 LVDC 컨버터로 구성한다. 다중 전력 변환장치를 AC 커플링할 때와 비교하여 DC 커플링 할 경우 스위치 소자의 개수, 전력변환 효율의 이점을 갖는다. 양방향 인버터의 사용으로 오프라인 UPS의 기능을 할 수 있다. Power Management System(PMS)는 전체 파워시스템의 총괄제어를 담당한다. PV 컨버터와 LVDC 컨버터는 단방향 출력, ESS 컨버터와 양방향 인버터는 양방향 출력을 한다. DC 커플링부는 상대적으로 큰 DC링크 커패시터의 전압이 일정하게 유지되도록 ESS 컨버터와

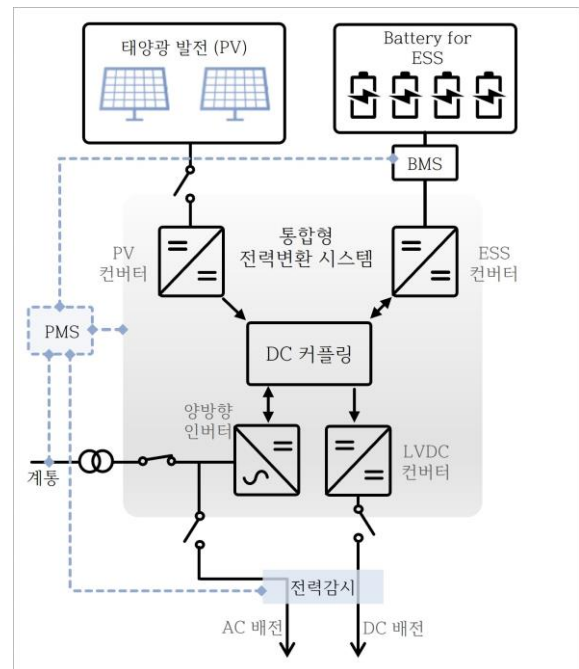


그림1 제안하는 통합형 다중 전력변환 시스템
 Fig.1 Proposed integrated multi-power conversion system

양방향 인버터에서 주요 전압제어를 수행한다.

2.2 절 시스템 시퀀스 알고리즘 개발

그림 2는 ESS를 적용한 일간 계통 전력사용량의 피크-셰이빙 곡선과 태양광 발전 전력량 곡선을 나타낸다. 계통 소비전력의 피크구간에서 ESS방전과 태양광 발전전력으로 전력 피크를 해소하고 오프-피크 구간에서는 계통 전원을 통해 ESS를 충전하여 전기 요금과 피크부하 부담을 줄일 수 있다. 해당 그림은 직관적인 판단을 위한 예시 자료이며 실제 데이터는 변동률이 매우 높으나 그림 3의 알고리즘 시퀀스를 기반으로 통합형 전력변환 시스템에서 제어를 수행한다.

그림 3에 나타난 다중 전력변환시스템 시퀀스 알고리즘에서는 PMS의 State 선택을 기준으로 시퀀스를 나타내었다. State 0 은 계통의 정전 상태이며 이때 양방향 인버터는 인버터모드로 동작하고, 배터리 SoC가 10% 미만이 될 때 까지 ESS 컨버터는 방전모드로 동작한다.

State 1에서는 계통은 오프-피크 구간이고 PV 발전량이 없는 구간이며, 양방향 인버터는 정류기모드로 동작하여 계통전원으로 ESS를 충전한다.

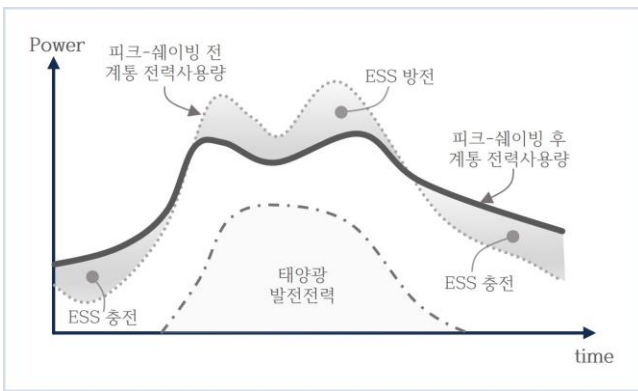


그림2 ESS 를 적용한 일간 계통 전력사용량의 피크-셰이빙 곡선과 태양광 발전 전력량 곡선

Fig.2 Peak-shaving curve of daily grid power consumption using ESS and PV power generation curve.

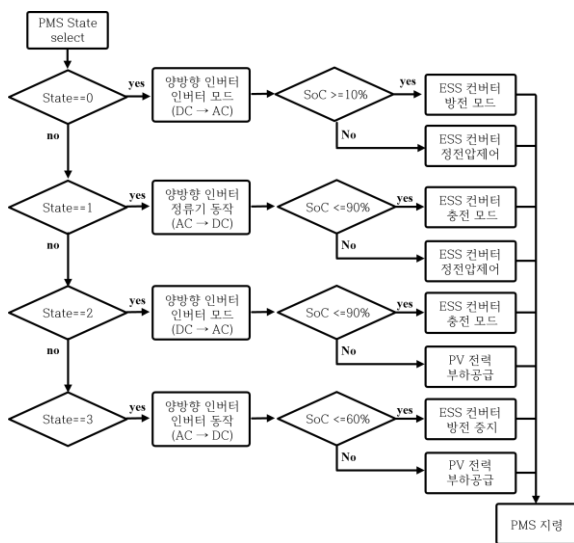


그림3 제안하는 다중 전력변환시스템 시퀀스 알고리즘 순서도

Fig.3 Flowchart of the proposed multi-power conversion system sequence algorithm

State 2는 계통의 부분-피크구간 이면서 PV 발전량이 높은 구간이고, ESS 배터리 SoC 90% 까지 PV에너지로 배터리를 충전하고 90%이상부터는 PV 생산전력이 AC 배전으로 공급된다. State 3은 계통의 피크구간이면서 PV 발전량이 높은 구간이고, ESS 배터리 충전상태에 따라 PV발전 에너지가 AC배전으로 공급된다. 또한 SOC 60%까지는 ESS를 통해 공급한다. 계통의 부분-피크 구간이면서 PV 발전량이 부족한 경우는 State 1에 해당한다.

2.3 절 실험

그림 4는 통합 전력변환 시스템의 출력 실험파형을 보여준다. 그림 4 (a)는 배터리 방전전류 (I_{Batt}) 가 0 A 일때 각부파형이며, 그림 4 (b)는 배터리 방전전류가 흐를 때, 계통을 통해 흐르는 전류가 감소하면서도 V_{ac} 부하전압과, LVDC 출력전압이 일정하게 유지되는 것을 보여준다.

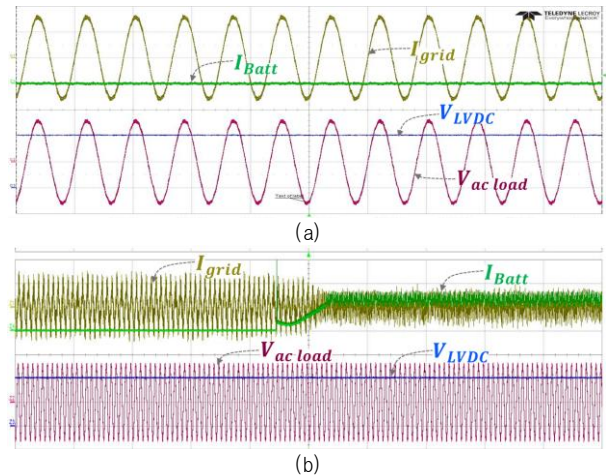


그림4 출력 실험 파형 (a) 일반 출력 (b) 배터리 동작시 각부파형
Fig.4 Experiment waveform (a) Normal output (b) Each part waveform during battery operation

3. 결론

본 논문에서는 PV 컨버터, ESS 컨버터, 양방향 인버터, LVDC 컨버터를 하나의 DC 커플링을 통해 결합한 통합형 전력변환 시스템 개발내용과 다중 시스템의 동작 시퀀스 알고리즘 그리고 제안하는 다중 전력변환 장치의 실험내용을 기술하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원(No.20212020800090)과 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원(No.20014285)을 받아 수행된 연구입니다.

참고 문헌

- [1] H. I. Sin and J. S. Kim, "Developing a Package Design for Cold Chain Logistics Services in a Warming Climate", KICPD, No. 72, pp. 71-80, 2023.
- [2] H. Y. Sin and J. B. Park, "Analysis of Global RE100 Operation Status and suggestions for Expanding RE100 in South Korea," The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 70, No. 11, pp. 1645-1654, 2021.