

이중 배터리를 이용한 HBESS 설계 및 퍼지 논리 기반의 제어 알고리즘

노태원, 안정훈, 이병국[†]
 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

Design of Hybrid Energy Storage System Using Dual Battery and Control Algorithm Based on Fuzzy Logic

Tae Won Noh, Jung Hoon Ahn and Byoung Kuk Lee[†]
 Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문은 고에너지 밀도와 고출력 특성의 이중 배터리를 이용한 HBESS (Hybrid Battery Energy Storage System) 설계 방안과 퍼지 로직 기반의 제어 알고리즘을 개발한다. 시스템의 전력 수요 특성을 고려하여 이중 배터리의 최적 용량을 산정하고 HBESS의 구성 방안을 제안한다. 내부 상태에 따라 변화하는 배터리 특성을 효과적으로 반영하기 위하여 퍼지 논리 기반의 시스템 제어 알고리즘을 도입한다. 본 연구의 타당성은 실제 전력 수요 프로파일 기반의 시뮬레이션을 통하여 검증한다.

1. 서론

최근 리튬 이온 배터리의 발전을 기반으로 BESS (Battery Energy Storage System)의 보급이 가속화 되고 있다. BESS는 잔여 전력 활용을 통해 전력 품질 향상 및 에너지 비용 절감 효과를 가진다. 그러나 에너지 저장 능력이 높은 배터리 (B_e)로 구성된 단일 BESS의 경우 높은 전력을 공급하기 위해 많은 수의 배터리가 필요하다. 이로 인하여 단일 BESS는 비용 증가, 전력 밀도 및 배터리 이용률 감소 등의 단점을 가진다. 따라서 B_e 가 연속적인 기저 전력을 보조하고 고출력 부하 공급을 위해 출력 성능이 큰 배터리 (B_p)를 함께 사용하는 HBESS (Hybrid Battery Energy Storage System)가 필요하다.

기존 연구에서는 HBESS 구성을 위한 이중 배터리의 용량 설계 방안을 제안하고 있다^[1]. 그러나 SOC (State of Charge)와 충방전 전류 크기에 따른 배터리의 에너지 및 출력 성능 변화가 고려되지 않아 배터리 용량의 최적 설계 및 시스템의 효율적 운영에 한계를 가진다.

본 논문은 그림 1의 전력 수요 프로파일을 기반으로 HBESS의 배터리 용량 설계 방안 및 배터리 동작 환경에 따른 설계점 최적화 방법과 충방전 효율 특성이 고려된 퍼지 논리 (fuzzy logic) 기반의 시스템 제어 알고리즘을 제안한다.

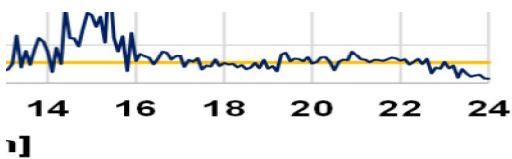


그림 1 HBESS 전력 수요 프로파일
 Fig. 1 Power demand profile of HBESS.

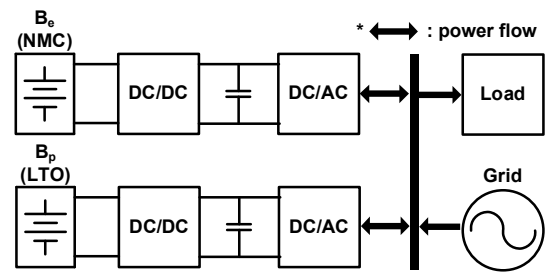


그림 2 HBESS 구성도
 Fig. 2 Configuration of HBESS.

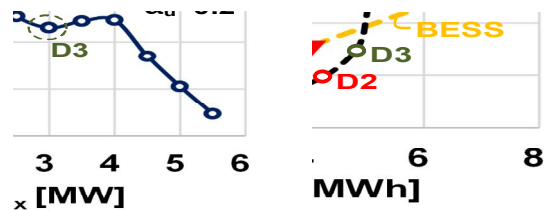
2. HBESS 배터리 용량 설계

2.1 HBESS의 배터리 용량의 최적 설계

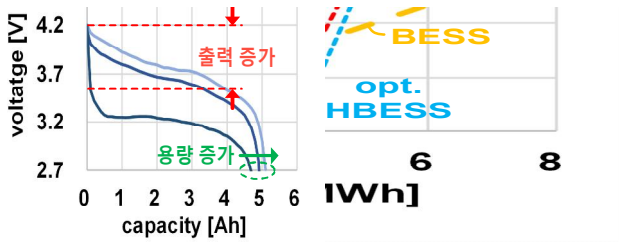
계통의 발전량은 부하평준화 (load leveling)를 위해 전력 수요 평균값으로 제어한다. B_e 는 설정된 최대 출력 ($P_{e,max}$) 미만의 기저 전력을 공급하며 $P_{e,max}$ 를 초과하는 HBESS의 전력 수요량은 B_p 를 통해 공급한다. 계통 및 배터리 간 전력 전달을 위해 그림 2와 같이 시스템을 구성하고, B_e 와 B_p 는 NMC (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide)와 LTO (Lithium Titanate Oxide) 배터리를 사용한다.

HBESS를 구성하는 이중 배터리 용량 및 개수는 $P_{e,max}$ 에 따라 달라진다. 본 논문에서는 $P_{e,max}$ 에 따른 시스템 설계 지표 (f_d , design factor)를 식 (1)과 같이 단일 BESS 대비 부피 (v), 가격 (c) 및 배터리 이용률 (u)로 정의하고 그림 3의 (a)와 같이 $P_{e,max}$ 의 최적점을 찾는다. u 는 각 배터리의 최대 전류 성능

$$f_D = \alpha_v \frac{v_{BESS}}{v_{HBESS}} + \alpha_c \frac{c_{BESS}}{c_{HBESS}} + \alpha_u \frac{u_{HBESS}}{u_{BESS}}, \quad \alpha_x: \text{반영 비율} \quad (1)$$



(a) $P_{e,max}$ 에 따른 f_d 변화 (b) HBESS와 단일 BESS의 비교
 그림 3 f_d 를 통한 HBESS 설계
 Fig. 3 Design of HBESS through design factor.



(a) 동작 제한에 따른 배터리 성능 변화 (b) 최적화를 통한 HBESS 개선
 그림 4 배터리 동작 조건 제어를 통한 시스템 최적화
 Fig. 4 Optimization of HBESS through control of operating condition.



그림 5 설계 방안에 따른 배터리 수 및 fd
 Fig. 5 Number of battery and fd by design method.

대비 최대 출력 전류량과 SOC 이용율의 평균으로 계산한다. 그림 3의 (b)는 단일 BESS와 최적 설계된 HBESS를 라곤도표 (ragone plot)를 통해 나타낸다^[1]. 이를 통해 HBESS 사용시 단일 BESS 대비 배터리 개수를 저감할 수 있는 효과를 확인할 수 있다 (그림 5).

2.2 배터리 특성을 고려한 HBESS 설계점 개선

그림 4의 (a)는 NMC 배터리의 C rate에 따른 방전 전압 곡선으로, 동작 SOC 영역 및 충방전 전류 크기의 제한을 통해 배터리의 출력 특성 및 에너지 성능을 높일 수 있음을 보여준다. 따라서 그림 4의 (b)와 같이 배터리의 동작 조건의 최적화를 통해 HBESS 설계점 개선이 가능하며 배터리의 총 개수를 저감시킬 수 있다. 그림 5는 설계 방안에 따른 배터리 개수 및 f_d 를 나타낸다.

3. 배터리 충방전 효율을 고려한 FLC 알고리즘

HBESS의 고효율 운전을 위해 배터리의 충방전 효율이 반드시 고려되어야 한다. 배터리 충방전 효율은 배터리 종류 및 SOC에 따라 변화하는 배터리 내부 저항으로 결정된다. 따라서 HBESS는 이중 배터리의 내부 저항 및 SOC를 각각 고려하여 충방전 효율을 제어해야 하는 어려움을 가진다. 제안하는 알고리즘은 그림 6과 같이 FLC (Fuzzy Logic Controller)를 이용하여 각 배터리의 출력력을 제어한다. 이중 배터리의 충방전 효

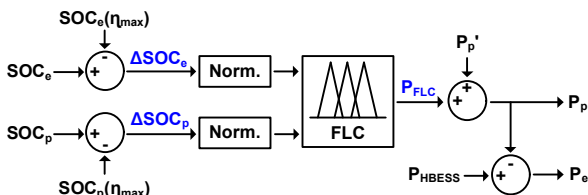


그림 6 제어 알고리즘 블록도
 Fig. 6 Block diagram of control algorithm.

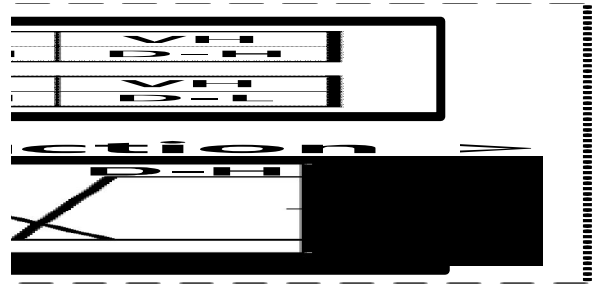


그림 7 FLC 블록 구성
 Fig. 7 Configuration of FLC block.

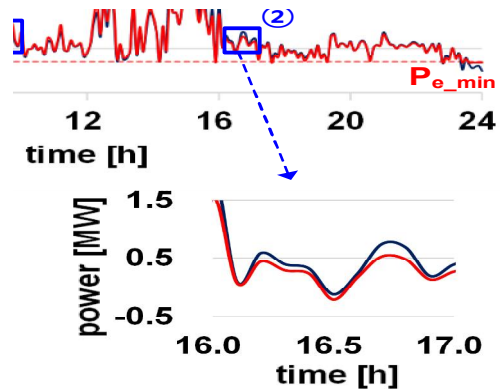


그림 8 HBESS 제어 알고리즘 시뮬레이션
 Fig. 8. Simulation of HBESS control algorithm .

율이 최대인 SOC 지점 ($SOC_x(\eta_{max})$)을 기준으로 현재 배터리의 SOC를 산출하여 각 배터리의 입출력 전력 크기가 결정되며, FLC 로직 구성은 그림 7과 같다.

그림 8은 MATLAB 시뮬레이션을 통한 제어 알고리즘의 검증 결과이다. 시스템 제어 효율은 90.19%로 기존 제어 방식의 88.03% 대비 2.06% 개선되는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 에너지 저장 성능 및 출력 성능이 우수한 이중 배터리를 이용하는 HBESS의 배터리 용량 선정 방안 및 운전 제어 알고리즘을 제안한다. 배터리 동작 특성을 고려한 용량 설계를 통해 최적화된 HBESS 구성이 가능하며 FLC 기반의 운전 제어 알고리즘을 통해 이중 배터리의 충방전 효율을 동시에 고려함으로써 90.19%의 운전 효율을 구현한다.

이 논문은 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행한 녹색산업선도형이차전지기술개발 사업(No.10053710)입니다.

참고 문헌

[1] K. Takeda, C. Takahashi, H. Arita, et al, "Design of hybrid energy storage system using dual batteries for renewable applications," 2014 IEEE PES General Meeting| Conference & Exposition, National Harbor, MD, 2014, pp. 1-5.