

ESS의 제어알고리즘 설계를 위한 소프트웨어 테스트베드 개발

이성준^{1†}, 백종복², 강모세²

조선대학교 기계시스템미래자동차공학부¹, 한국에너지기술연구원²

Development of Software Test bed for ESS Control Algorithm Design

Seongjun Lee^{1†}, Jongbok Baek², Mose Kang²

Chosun University¹, Korea Institute of Energy Research²

ABSTRACT

본 논문에서는 다기능 ESS의 제어알고리즘 및 운영 전략에 따른 모드 천이 안정성 및 경제성 등 장시간 시뮬레이션을 수행할 수 있는 소프트웨어 테스트베드 모델설계 결과를 제시한다. 전력변환장치의 순시 응답 특성을 확인하기 위해서 인버터 전력반도체 스위치, 인덕터 및 커패시터 등의 부품에 대한 모델링이 필요하고, 이는 전력계통에서 활용되고 있는 상용 소프트웨어인 Matlab/Simulink/SimPowerSystems의 라이브러리를 활용하여 구현할 수 있다. 하지만 평균모델을 사용하는 경우에도 각 요소 회로의 시정수로 인해 시뮬레이션의 샘플링 시간을 줄이는 데는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 신재생 에너지의 하루 발전 특성에 대한 제어로직에 따른 결과 및 경제성 분석등에 활용할 수 있는 기능모델(functional model)의 설계 방법을 제시하고, 개발된 모델을 상용소프트웨어의 결과와 비교함으로써 본 연구결과의 타당성을 보인다.

1. 서론

최근 신재생에너지 발전 및 전력품질에 대한 중요성이 대두되고 있어, 전력 계통의 안정적이고 효율적인 운영을 위해 ESS(Energy Storage System)의 다양한 기능에 대한 알고리즘 연구개발을 진행하고 있고, 이러한 기능을 통합 검증할 수 있는 소프트웨어 및 하드웨어(SILS/HILS) 개발환경 구축이 필요하다. 전력변환장치 및 다수의 신재생 에너지원의 특성을 반영하여 통합시뮬레이션 할 수 있는 모델은 상용소프트웨어인 Matlab/Simulink/SimPowerSystems를 사용하여 만들 수 있다. 하지만 해당 소프트웨어의 라이브러리에서 제공하는 평균모델(average model)을 사용하는 경우에도 각 요소부품 및 회로의 요구되는 시정수로 인해 시뮬레이션의 샘플링 시간을 줄이는 데는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 시뮬레이션 모델 및 알고리즘 개발 시간 단축을 위한 기능 모델(functional model) 설계 방법 및 결과를 제시한다.

기능모델은 전력변환장치의 스위치의 온/오프에 따른 물리량 변화를 반영하지 않고, 효율을 고려한 전력에 대한 방정식으로 구성하는 방식으로 전력전달 관점에서 주요 구성품별 입출력 전압/전류가 모델링된다. 기능 모델은 인버터에 적용되는 전력반도체의 스위치, 인덕터, 커패시터 및 변압기 모델을 제거한 상태에서 모델이 만들어지기 때문에, 스위칭 모델에 비해 시뮬레이션 속도가 빠른 장점이 있다. 또한 전력변환장치의 전류, 전압 지령에 대한 제어된 결과가 잘

추종되는 경우를 가정하여 시지연(time delay)을 반영함으로써

실제 응답과의 오차를 줄이면서 스위칭 모델과 동일한 결과를 얻을 수 있다.

따라서 본 논문에서는 신재생 에너지의 하루 발전 특성에 대한 제어로직에 따른 결과 및 경제성 분석등에 활용할 수 있는 기능모델(functional model)의 설계 방법을 제시하고, 개발된 모델을 상용소프트웨어의 결과와 비교함으로써 본 연구결과의 타당성을 보인다.

2. ESS 시스템 모델링

2.1 시스템 모델

본 연구에서는 태양전지 발전시스템(PV-PCS)과 ESS가 연계된 시스템의 기능 모델을 그림 1과 같이 설계하였다. 태양전지모듈과 리튬배터리는 SimpowerSystems의 라이브러리에서 제공하는 블록을 사용하였고, PV PCS와 ESS PCS는 기능모델로 구현하였다. 제어알고리즘 설계의 용이를 위해 각 전력변환장치의 제어부를 별도로 블록화 구성하였고, 상위 제어기(PMS)의 지령을 받아서 동작할 수 있도록 설계하였다.

2.2 ESS 시스템의 증감발을 제어 알고리즘

본 절에서는 구성된 시스템 기능 모델을 이용하여 개발한 ESS 시스템의 증감발출(Ramp-rate) 제어방법에 대해 간략히 기술한다. 그림 2은 ESS 리튬배터리의 충전 상태를 고려한 증감발출 제어 블록 다이어그램을 나타낸다. 이때 함수 f()는 리튬배터리의 충전상태에 따른 충방전을 조절을 위한 함수이다. Rate-limiter를 적용한 방식은 저주파 통과필터^[1]를 사용한 방식대비 계통에 주입되는 전력의 증감발 비율을 직접 제어할 수 있는 장점이 있다.

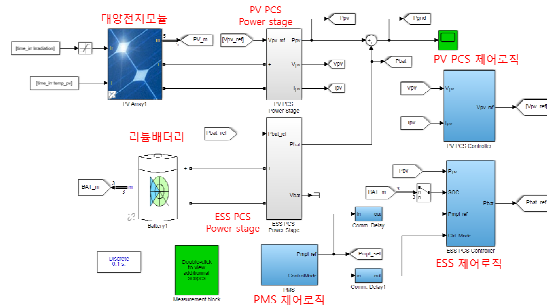


그림 1. 태양전지와 ESS가 연계된 시스템의 시뮬레이션 모델

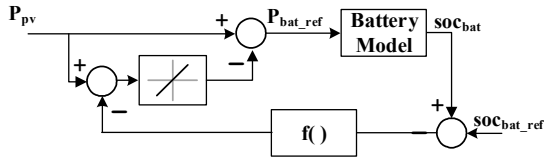


그림 2. Rate-limiter를 적용한 증감발을 제어 블록다이어그램

3. 모의실험 결과

본 절에서는 연구에서 설계한 기능 모델을 이용하여 ESS의 요구되는 기능중 하나인 증감발 제어 알고리즘 개발 결과를 제시한다. 먼저 시뮬레이션을 위해서 필요한 PV 시스템의 입력 데이터는 그림 3과 같은 Nikolov의 학위논문^[2]에서 제시된 일사량 데이터를 이용하였다. 그림 3은 본 시뮬레이션의 PV PCS에서 발전된 전력 및 전력의 램프율을 나타낸다.

그림 4는 2절에서 제시한 램프율 제어 알고리즘을 이용하여 계통에 발전되는 전력의 증감발율을 0.1pu/min(10kW/min)로 설정한 경우의 모의 실험 결과를 나타낸다. 그림 4 (b)의 결과에서 확인할 수 있듯이, 램프율 제어가 없는 경우(without ESS) 대비 태양전지의 발전전력이 설정한 램프율을 초과하는 경우에 ESS가 충방전 제어를 수행함으로써 계통에 주입되는 전력의 램프율을 설정한 값 이하로 제어할 수 있는 것을 알 수 있고, 그림 4 (a)로부터 배터리 사용량이 최소화될 수 있는 것을 알 수 있다.

그림 5는 설계된 ESS 기능 시뮬레이션 모델의 정확도 검사를 위해 Matlab/Simulink/SimPowerSystems 라이브러리를 이용하여 구축한 평균 모델과의 비교 결과를 보인다. PV power는 태양전지 모듈의 발전 전력, Average Model은 평균모델을 이용한 계통에 발전되는 전력, Functional Model은 기능 모델의 발전 전력을 나타내고 있고, 기능 모델은 평균모델의 결과와 같음을 보여주고 있다.

4. 결론

본 논문에서는 ESS의 기능 알고리즘 및 효율적인 제어 방법 연구를 진행할 수 있는 시뮬레이션 소프트웨어 개발방법을 제안하였다. 상용 소프트웨어를 활용하여 ESS 시스템을 구축하는 경우 모델의 신뢰성을 확보하면서 시스템 구축을 용이하게 할 수 있는 장점이 있지만, 장시간의 입력에 따른 시뮬레이션을 진행하는 경우 시간 및 메모리 측면에서 문제점이 있다. 전력변환장치의 모델을 시지연 및 효율을 반영한 전력

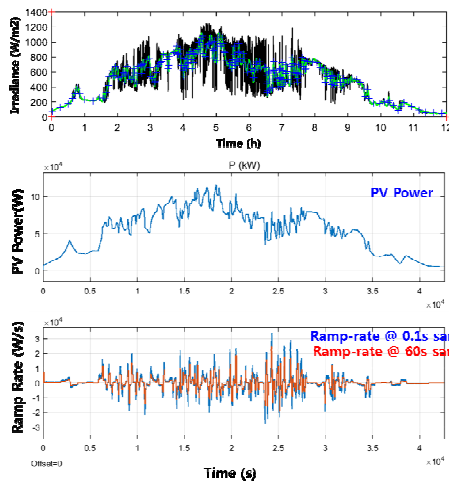


그림 3. 일사량 데이터^[2], 태양광발전량 및 램프율

방정식으로 대체함으로써 기능 모델을 구현할 수 있고, 평균 모델과 동일한 정확도를 확보할 수 있다. 제안된 기능모델은 신재생 에너지의 하루 발전 특성에 대한 제어로직에 따른 배터리의 이용률 및 경제성 분석에 활용될 수 있고, 이를 향후 연구로 진행할 예정이다.

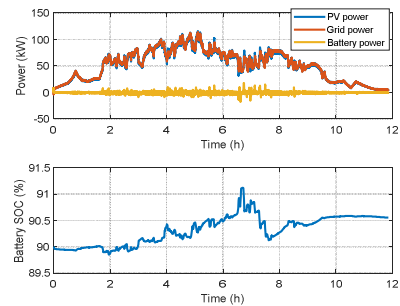
감사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20182410105280)

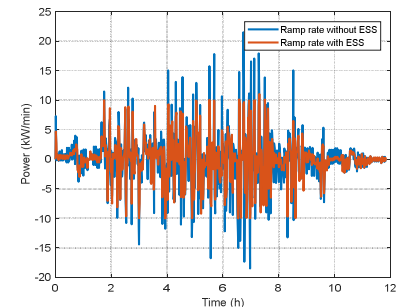
이 논문은 2019년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.NRF-2017R1C1B5017415)

참고 문헌

- [1] M. J. E. Alam, K. M. Muttaqi and D. Sutanto, "A Novel Approach for Ramp-Rate Control of Solar PV Using Energy Storage to Mitigate Output Fluctuations Caused by Cloud Passing," in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 29, no. 2, pp. 507-518, June 2014.
- [2] Nikolov, D.N. Power Ramp Rate Reduction in Photovoltaic Power Plants Using Energy Storage. Master's Thesis, Aalborg University, Aalborg, Denmark, 2017.



(a) PV PCS, ESS, 계통전력 및 배터리 충전상태



(b) 계통 전력의 램프율

그림 4. Ramp-rate 적용된 증감발제어 모의실험 결과

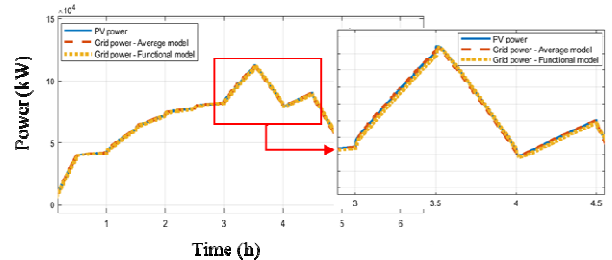


그림 5. ESS 기능 시뮬레이션모델 정확도 검증 결과