

VRFB ESS를 활용한 DC-Grid 안정성 기반 MG 운영 기법

김중철, 박병우, 박용운, 이유경, 김춘성
 (재)녹색에너지연구원
 e-mail:minisung13@gei.re.kr

MG operation technique based on DC-Grid stability using VRFB ESS

Jong-Cheol Kim, Park Byung Woo, Young Un Park, Yu-Kyeong Lee, Chun-Sung Kim
 Green Energy Institute

요약

본 논문은 3개의 MG가 연계된 다중 마이크로그리드에서 VRFB ESS를 기반으로 운영되는 MG를 중심으로 DC-Grid의 안정성을 확보할 수 있는 운영 기법을 제시하였다. DC-Grid의 기준 전압은 750Vdc 이며, 이를 안정적으로 유지하기 위하여, 별도의 BTB로 연계된 MG와 2개의 MG간 전력 전달용량을 조정하여 시스템의 전체적인 안정성을 확보할 수 있도록 구성하였으며, 실제 운용시 ESS의 여유용량이 유지됨을 확인함으로써 이를 검증하였다.

1. 서론

마이크로그리드(Micro-Grid : MG)란 디젤, 천연가스, 풍력 발전, 태양열발전등의 에너지원과 수요처의 전력공급을 제어 하고, ESS 및 신재생에너지를 통한 발전으로 전력 사용을 효율화할 수 있는 시스템을 의미한다.[1]

또한, 소규모 지역에서 전력을 자급자족할 수 있는 시스템으로 계통연계형과 독립형 두가지로 나뉜다.[2] [3]

계통연계형은 마이크로그리드 시스템과 계통이 함께 연계되어있어 주로 전력사용량이 큰 산업단지등에서 주로 사용되는 방식이다.

독립형은 마이크로그리드 시스템이 독립적으로 배전망을 구성하여, 수요처의 전력을 모두 감당할 수 있는 시스템으로 주로 섬, 군부대, 캠퍼스, 오지 등에서 주로 사용되며, 디젤발전기 등의 추가적인 전력 공급 설비가 함께 구축되어, 안정적인 전력 공급이 가능하도록 구성된다.

신재생에너지를 활용한 마이크로그리드에서 출력의 변동성을 보상하기 위하여 ESS등의 전력저장장치를 활용하며 이를 활용한 전력거래, DR대응등 스마트그리드의 형태를 띄기도 한다.

마이크로그리드 EMS는 이러한 마이크로그리드의 각 설비를 제어하기 위하여 구축되는 제어시스템으로 ESS, PCS, PV 시스템등의 전력변환기 제어와 알고리즘등을 활용한 최적제어가 이루어질 수 있도록 설계되며, 이를 통해 데이터의 수집,

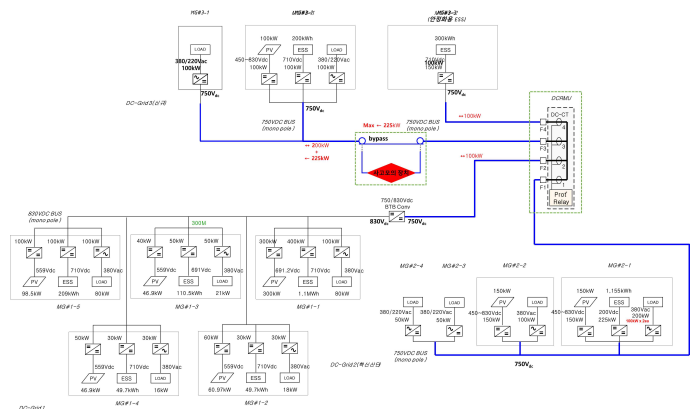
저장, 제어, 모니터링 등 운용을 위한 총괄적인 행위가 이루어진다.[4]

2. 본론

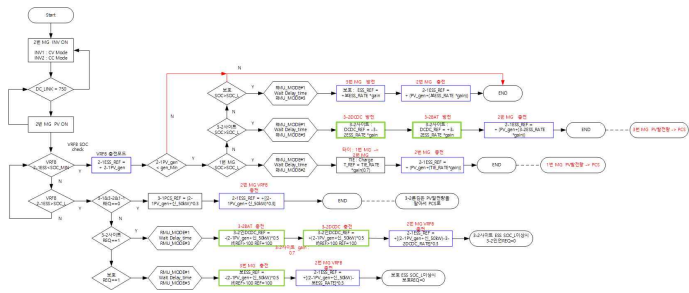
2.1 마이크로그리드 배전망 운영 요건

일반적인 운영 상황에서는 실시간 발전되는 에너지 또는 저장에너지만을 이용하여 부하전력을 공급하며 AC전력을 활용한 ESS충전은 수행하지 않는다.

부하 공급 전력을 제외한 운영전력은 DC전력으로만 전송됨 크게 3개의 MG가 각각 자체적으로 운영되며 이러한 3개의 MG Main 배전선로와 부하 공급을 위한 에너지 저장용이 아닌 운영 안정성을 보다 향상시키기 위한 안정화용 ESS 300kWh는 RMU(총 4회로)를 통하여 연결되어 있다.



2.1 마이크로그리드 배전망 운영

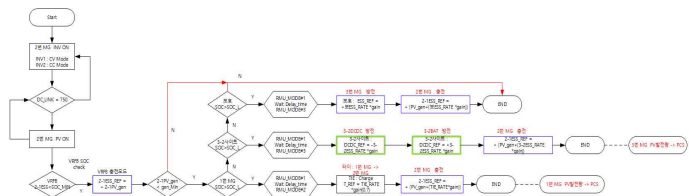


[그림 1] 배전망 운영 알고리즘

다회로 배전망 운영을 위한 알고리즘 중 노멀상태 알고리즘은 1번 MG / 2번 MG/ 3번MG 가 연계되어 동작되는 알고리즘 모드 기본으로 동작한다.

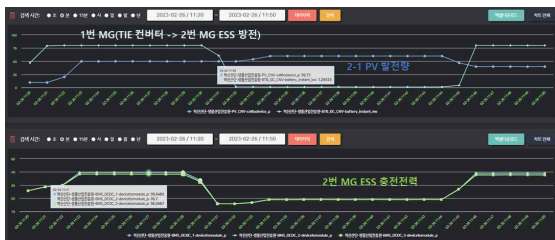
노말 운전알고리즘의 제어 주체는 2번 MG 산업단지의 1.15MWh VRFB의 SOC 상태값을 기준으로 운영되도록 구성하였다. (SOC_min, SOC_L, SOC_H, SOC_max)

(SOC < SOC_min) 2번 MG ESS 배터리의 SOC 상태가 SOC_min 보다 낮은 경우 운전모드



[그림 2] SOC < SOC_min에서의 운영

- 2번 MG ESS의 SOC가 낮을 경우, 연계마이크리드는 2번 MG의 ESS 충전을 우선순위로 두고 동작
- 2번 MG PV발전량 > gen_min 인 경우 발전된 전력을 모두 ESS충전에 적용
- 2번 MG(2-1) PV발전량이 충분한 경우, 2번 MG의 ESS는 PV발전량만으로도 충분한 충전량을 확보가능, PV발전량만을 통해 충전을 수행
- PV발전량이 변동되어 2번 MG ESS의 충방전을 위한 컨버터의 용량의 25%미만으로 떨어질 경우, 다회로연계망을 구성하는 각 ESS 용량을 기준으로 2번 MG ESS의 SOC를 확보할 수 있도록 동작
- (시험결과) PV발전+1번 MGESS 방전 -> 2번 MG ESS 충전



[그림 3] PV발전+1번 MGESS 방전 -> 2번 MG ESS 충전충전

2번 MG PV의 발전량이 gen_min(설정값)보다 작고 각 다회로 연계망 1번 MG, 3-2,3-1의 ESS SOC값이 SOC_L설정값보다 높을경우 방전을 통해 2번 MG ESS 배터리 충전

- 충전량: [배터리 컨버터Rate(1번 MG, 3-1, 3-2) * gain] + PV_gen
- (시험결과) 1번 MG -> 2-1ESS 충전
- 2-1 충전량: 1번 MG 방전 -> (Tie 컨버터_Rate * gain)+PV_gen(2-1)->2번 MG ESS 충전



[그림 4] 1번 MG -> 2-1ESS 충전

- (시험결과) 3-2 ESS -> 2-1 ESS 충전
- 2-1 충전량: 일반산단 방전(다회로 ESS_Rate * gain) + PV_gen(2-1) -> 2번 MG ESS 충전



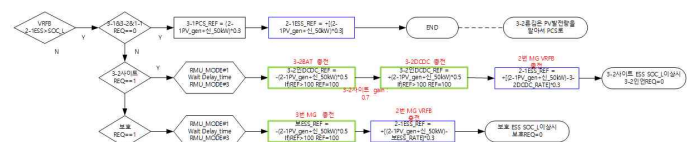
[그림 5] 3-2 ESS -> 2-1ESS 충전

- (시험결과) 보호 ESS -> 2-1 ESS 충전
- 2-1 충전량: 3번 MG 방전(보호 ESS_Rate * gain) + PV_gen(2-1) -> 2번 MG ESS 충전



[그림 6] 보호 ESS -> 2-1 ESS 충전

(SOC > SOC_L) 2번 MG ESS 배터리의 SOC 상태가 SOC_L 보다 높은 경우 운전모드



[그림 2] SOC > SOC_L에서의 운영

- 다회로 연계망 1번 MG, 3번 MG(3-2, 3-1)의 SOC가

SOC_L값 이상으로 충전요청 발생하지 않은 경우 2번 MG 사이트(2-1 + 2-2)의 PV발전량은 3-1 부하와 2-1 ESS충전 전력전달

- (시험결과) 보호 ESS -> 2-1 ESS 충전
 - 3-1 부하 전력공급 : $PV_gen(2-1 + 2-2) * 0.3$
 - 2번 MG ESS 충전량 : $PV_gen(2-1 + 2-2) * 0.3$
 - 2번 MG 부하 전력전달 : $PV_gen(2-1) * 0.4$



[그림 7] 보호 ESS -> 2-1 ESS 충전

- 3번 MG ESS SOC 부족으로 인한 충전요청시 2번 MG 사이트의 PV발전량을 통해 각 ESS 배터리 충전
- (시험결과) 3-2 ESS 충전 요청
 - 3번 MG 다회로 ESS 충전량: $[PV_gen(2-1 + 2-2) * 0.5] * 0.7$
 - 2번 MG ESS 충전량 : $PV_gen(2-1 + 2-2) * 0.3$
 - 2번 MG 부하 전력전달 : $PV_gen(2-1) - (2번 MG) ESS 충전량$



[그림 8] 3-2 ESS 충전 요청

- (시험결과) 보호 ESS 충전 요청
 - 보호 ESS 충전량: $[PV_gen(2-1 + 2-2) * 0.5] * gain$
 - 2번 MG ESS 충전량 : $[PV_gen(2-1 + 2-2) - 보호 ESS Rate] * 0.3$
 - $PV_gen(2-1 + 2-2)$ 의 발전량이 보호ESS Rate 보다 작아서 2번 MG 충전량은 0
 - 발전량이 많은 주간에는 $PV_gen(2-1 + 2-2)$ 발전량이 ESS Rate보다 커지므로 충전가능



[그림 9] 3-2 보호 ESS 충전 요청

3. 결론

본 논문은 3개의 MG가 연계된 다중 마이크로그리드에서 VRFB ESS를 기반으로 운영되는 MG를 중심으로 DC-Grid의 안정성을 확보할 수 있는 운영 기법을 제시하였으며, 각 마이크로그리드의 안정성을 확보할 수 있도록 ESS의 여유용량 부족시 각 MG간 전력공유를 통해 안정성이 유지됨을 확인하였다.

후속연구를 통해, 전력공유 뿐만 아니라 전력거래형태의 운영알고리즘을 시험·실증의 필요성이 있음을 확인하였다.

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원(20214910100010,대용량(1MWh 이상) VRFB-ESS 현장평가(SAT) 기술기준 및 시험평가 기기 개발)과 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(20214910100010,대용량(1MWh 이상) VRFB-ESS 현장평가(SAT) 기술기준 및 시험평가 기기 개발)

참고문헌

- [1] 김지훈, 이병하.(2014).신재생에너지발전의 확률적인 특성과 탄소배출권을 고려한 마이크로그리드 최적 운용.전기학회논문지,63(1),18-26.
- [2] 정태영, 백영식.(2010).실시간 전기요금제에서 마이크로그리드의 운용 방법.전기학회논문지,59(12),2165-2172.
- [3] Renata Rodrigues Lautert, Adriano Gomes de Freitas, Ana Paula Militz Dorneles, Anderson Vinck, Émerson Isaias da Silva, Isabella Basso Pereira, Maurício Sperandio, Filipe Gabriel Carloto, Luciane Neves Canha, Wagner da Silva Brignol, "Management of Distributed Energy Resources in a Rural Microgrid", 2022 14th Seminar on Power Electronics and Control (SEPOC), pp.1-6, 2022.
- [4] A. Merabet, Z. Qin and A. M. Y. M. Ghias, "Control of Simulated Solar PV Microgrid Operating in Grid-Tied and Islanded Modes," IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Washington, DC, USA, 2018, pp. 1729-1734, doi: 10.1109/IECON.2018.8591692.