

신재생에너지 수용성 향상을 위한 가상전력선로 장치의 운용특성에 연구

이수용*, 유현상*, 박동명*, 이진호*, 노대석*

*한국기술교육대학교 전기공학과

lsy4570@kopo.ac.kr

An Operation Characteristics of VPL Device to Improve Hosting Capacity in Renewable Energy Sources

Soo-Yong Lee*, Hyun-Sang You*, Dong-Myoung Park*, Jin-Ho Lee* and Dae-Seok Rho*

*Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

요약

최근, 신재생에너지의 급격한 도입으로 수용가의 부하 사용량이 작은 시간대에 역조류 현상에 의하여, 수용가 전압이 규정전압 범위($220\pm6\%[V]$)를 벗어나는 사례가 빈번하게 발생하여 신재생에너지의 수용성이 감소하고 있는 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 신재생에너지의 연계지점이나 수용가 말단 등에 설치하여, 신재생에너지의 수용성을 향상시킬 수 있는 가상전력선로 운용기술인 VPL(virtual power line) 장치를 제안한다. 여기서, VPL 장치는 VPL용 플랫폼과 VPL용 ESS로 구성되는데, 플랫폼은 배전계통, 신재생에너지, 계통유연자원의 운용정보를 실시간으로 모니터링하고, ESS는 운용 플랫폼의 제어신호에 의하여 충·방전 동작을 수행한다. 또한, 전력계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모의 배전계통부, 모의 태양광전원부, VPL 장치부 등으로 구성된 VPL 시험장치의 모델링을 수행하고, 이를 바탕으로 lab-scale의 30kW급 VPL 시험장치를 구현한다. 상기의 모델링과 시험장치를 바탕으로 VPL 장치의 운용특성을 평가한 결과, 수용가의 전압이 규정전압 범위를 벗어나는 경우, VPL 장치가 배전계통, 신재생에너지, 계통유연자원의 운용정보를 바탕으로 수용가의 전압을 규정전압 범위 이내로 조정하여, 신재생에너지의 수용성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

1. 서 론

최근, 전 세계적인 탄소중립 및 RE2050 정책에 따라 신재생에너지의 도입이 급속도로 증가하고 있는 실정이다. 특히, 주간 시간대에 신재생에너지의 발전량이 급증하여 전력 공급과 수요의 불균형이 발생하는 경우, 역조류로 인하여 수용가의 과전압 현상을 초래하여 규정전압 범위를 벗어날 가능성이 있다. 또한, 기후 조건에 의하여 신재생에너지 전원의 출력이 변동하는 경우, 수용가에 저전압 현상이 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 전력설비의 인프라를 추가적으로 설치하는 방안이 제시되고 있지만, 막대한 건설 비용과 시간이 소요되어 이를 대체할 수 있는 기술이 요구되고 있다.

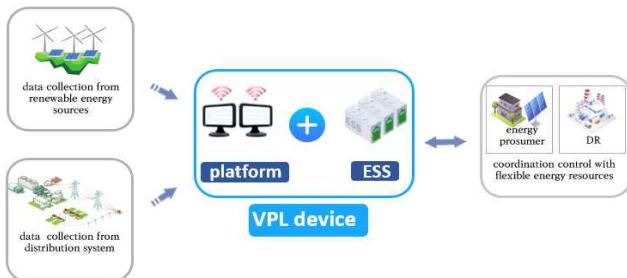
따라서, 본 논문에서는 전력설비 인프라를 증설하지 않고, 신재생에너지의 연계지점이나 수용가 말단 등에 설치하여, 신재생에너지의 수용성을 향상시키는 가상적인 전력선로 운용기술인 VPL 장치를 제안한다. 여기서, VPL 장치는 VPL용 플랫폼과 VPL용 ESS로 구성되는데, 플랫폼은 배전계통, 신재생에너지, 계

통유연자원의 운용정보를 실시간으로 모니터링하고, ESS는 운용 플랫폼의 제어신호에 의하여 충·방전 동작을 수행한다. 또한, 전력계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모의 배전계통부, 모의 태양광전원부, VPL 장치부 등으로 구성된 VPL 시험장치의 모델링을 수행하고, 이를 바탕으로 lab-scale의 30kW급 VPL 시험장치를 구현한다. 상기의 모델링과 시험장치를 바탕으로 VPL 장치의 운용특성을 평가한 결과, 수용가의 전압이 규정전압 범위를 벗어나는 경우, VPL 장치가 배전계통, 신재생에너지, 계통유연자원의 운용정보를 바탕으로 수용가의 전압을 규정전압 범위 이내로 조정하여, 신재생에너지의 수용성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

2. 신재생에너지의 수용성 향상을 위한 VPL 장치의 구성

신재생에너지의 용량이 급속도로 증가함에 따라 연계된 배전선로의 수용가의 전압이 규정범위($207[V]\sim233[V]$)를 벗어날 가능성이 있다. 이로 인하여 배전계통에 접속된 신재생에너지의 수

용성이 감소하여, 경제적으로 막대한 손실이 발생하고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 전력설비 인프라의 증설이 요구되지만, 막대한 건설비용과 오랜 건설기간이 소요되어, 이를 대체할 수 있는 VPL 장치 운용기술이 주목받고 있다. 여기서, VPL 장치는 그림 1과 같이 VPL용 플랫폼과 VPL용 ESS로 구성되는데, VPL용 플랫폼은 기존의 배전계통 운용시스템으로부터 배전계통 운용정보를 수집하고, 신재생에너지의 출력과 계통 유연자원의 운용상황을 실시간으로 모니터링한다. 또한, VPL용 ESS는 배전계통 수용가에 전압 문제가 발생할 경우, VPL용 플랫폼 제어 신호에 따라 충·방전 동작하여 수용가 전압을 규정전압 범위 이내로 유지시키는 역할을 수행한다. 즉, VPL 장치는 전력 설비 인프라(송·배전설비)를 추가로 증설 및 신설하지 않고, 배전계통을 관리하는 가상전력선로 운용기술이다.

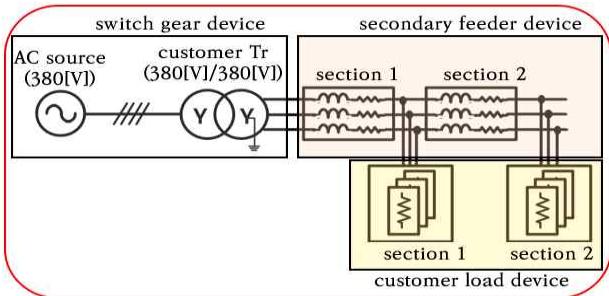


[그림 1] VPL 장치의 구성

3. 신재생에너지 수용성 향상을 위한 30kW급 VPL 시험장치의 구현

3.1 모의 배전계통부

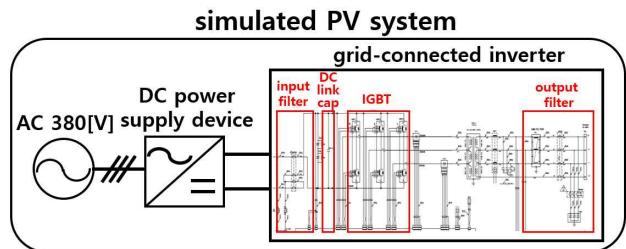
모의 배전계통부는 그림 2와 같이 AC 전원, 모의 선로장치, 모의 부하장치, 등으로 구성된다. 여기서, AC 전원은 AC 380[V]의 3상 4선식이고, 수용가용 변압기는 30[kVA]의 정격용량을 가지며, Y-Yg 결선방식으로 380[V]/380[V]의 변압비를 적용한다. 또한, 모의 선로장치는 선로 임피던스에 따른 수용가 과전압 특성을 모의하기 위하여 2개의 구간으로 구성한다. 한편, 모의 부하장치는 저항(R)과 리액터(L) 부하로 구성되는데, 1구간의 저항 부하는 상당 200[W], 300[W], 2,000[W], 4,000[W]이고, 리액터 부하는 200[Var], 300[Var], 1,000[Var], 4,000[Var]로 MC 제어에 따라 조정된다. 또한, 2구간의 저항 부하는 상당 100[W], 400[W], 1,000[W], 3,000[W]이고, 리액터 부하는 100[Var], 400[Var], 2,000[Var], 3,000[Var]로 구성된다.



[그림 2] 배전계통부의 구성

3.2 모의 태양광전원부

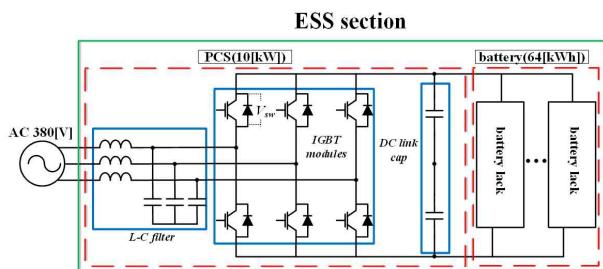
모의 태양광전원부는 그림 3과 같이 DC 전원공급장치와 계통연계용 인버터 등으로 구성된다. 여기서, DC 전원공급장치는 AC 전력을 DC로 변환하여 계통연계용 인버터에 공급하는 역할을 수행하며, 계통연계용 인버터는 PLL 제어를 바탕으로 계통의 위상을 추종하여 전력을 공급한다.



[그림 3] 모의 태양광전원부의 구성

3.3 VPL용 ESS부

VPL용 ESS부는 그림 4와 같이 L-C 필터, IGBT 모듈, DC-link 커패시터 등으로 구성된 PCS와 배터리로 구성된다. 여기서, PCS는 IGBT 스위칭을 통해 DC 전력을 120° 위상차를 갖는 3상 AC로 변환시켜, 배터리의 충·방전 동작을 수행한다. 또한, VPL용 ESS부의 배터리 정격용량은 64[kWh]이며, 정격전압은 260[V], 6S1P의 배터리랙으로 구성된다.

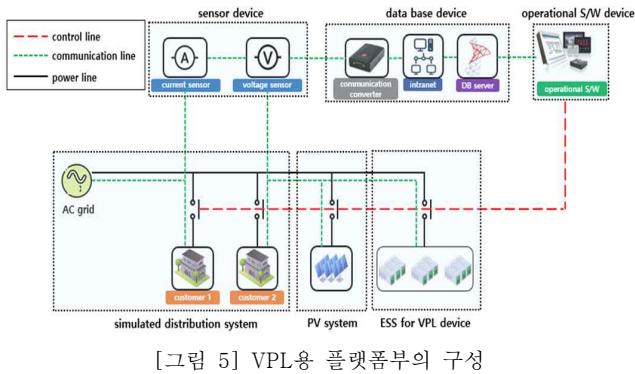


[그림 4] VPL用 ESS부의 구성

3.4 VPL용 플랫폼부

VPL용 플랫폼의 제어 및 감시장치의 흐름도는 그림 5과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 계측장치는 모의 배전계통부, 모의 태양광전원부, VPL용 ESS의 운용데이터를 측정하고, DB는 계측부에

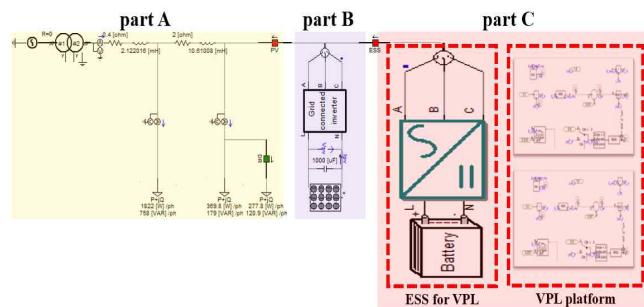
서 측정한 데이터를 통신 변환기를 이용하여 서버에 저장한다. 또한, AutoBase에 의한 운용 S/W 장치는 서버에 저장된 데이터를 바탕으로 모의 태양광전원부, VPL용 ESS부의 제어를 수행한다.



[그림 5] VPL용 플랫폼부의 구성

4. PSCAD/EMTDC를 이용한 30kW급 VPL 시험장치의 모델링

상기의 내용을 바탕으로, 신재생에너지의 수용성 향상을 위한 30kW급 VPL용 시험장치의 전체 시스템 모델링을 나타내면 그림 6과 같다. 여기서, part A는 모의 배전계통부, part B는 모의 태양광전원부, part C는 ESS와 플랫폼으로 구성된 VPL부를 나타낸다.



[그림 6] 30kW급 VPL 시험장치의 모델링

5. 시뮬레이션 및 시험 결과 분석

5.1 시뮬레이션 및 시험 조건

신재생에너지의 수용성 향상을 위한 30kW급 VPL 장치의 시뮬레이션 및 시험 조건은 표 1과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, AC 전원은 380[V] 3상 4선식이며, 모의 선로부는 태양광전원의 연계지점에 따른 VPL의 운용특성을 평가하기 위하여 2개의 구간으로 나누어 구성한다. 즉, 1번 및 2번 구간의 선로 임피던스는 각각 $0.4+j0.8[\Omega]$, $1+j2[\Omega]$ 으로 설정한다. 한편, 태양광 역조류에 의한 수용가의 과전압을 모의하기 위하여, 1번과 2번 구간 부

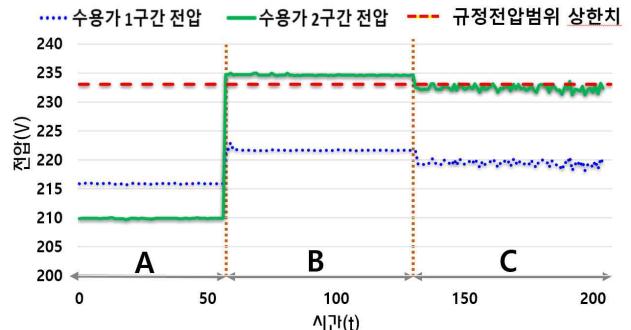
하의 용량은 각각 5.4[kW], 2.2[kW]로 설정하며, 수용가의 저전압을 모의하기 위하여, 1번과 2번 구간 부하의 용량은 각각 13.5[kW], 2.3[kW]로 설정한다. 그리고, 모의 태양광전원의 용량은 16[kW], DR 수용가의 용량은 2번 구간 수용가 최대부하의 20[%] 정도로 설정한다.

[표 1] 시뮬레이션 및 시험 조건

항 목	내 역	
AC 전원[V]	3Ø 380	
선로 임피던스[Ω]	section 1	$0.4+j0.8$
	section 2	$1+j2$
3Ø 부하 과전압 모의[kW]	section 1	5.4
	section 2	2.2
3Ø 부하 저전압 모의[kW]	section 1	13.5
	section 2	2.3
모의 태양광전원 [kW]	16	
DR 수용가[kW]	0.5(2번 구간 수용가 최대부하의 20[%])	

5.2 H/W 시험장치에 의한 VPL의 운용특성

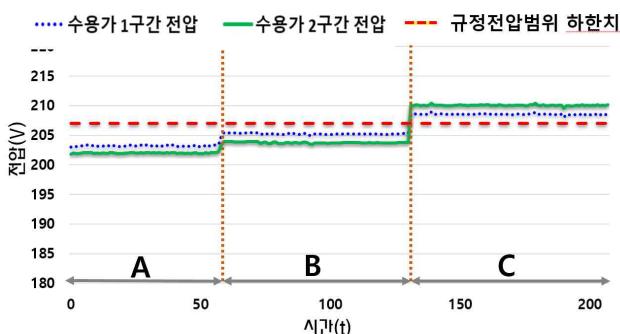
상기에서 제시한 시험 조건을 바탕으로, 수용가 과전압에 따른 30kW급 VPL 장치의 운용특성을 나타내면 그림 7과 같다. 여기서, 그림 7의 A 영역은 태양광전원이 연계되기 전의 정상상태를 나타내고, B 영역은 15[kW]의 태양광전원이 연계된 상태이며, C 영역은 VPL용 플랫폼의 제어신호에 의하여, ESS가 충전동작을 수행한다. 또한, 그림 7의 A 영역과 같이 1번, 2번 구간의 수용가 전압은 각각 215[V], 209[V]로 설정된다. 한편, B 영역은 태양광전원의 역조류로 인하여 2번 구간 수용가 전압이 234[V]로 설정되어, 과전압 현상이 발생함을 알 수 있다. C 영역에서는 본 논문에서 제안한 VPL 장치의 2[kW] 충전 동작에 의하여, 수용가의 전압이 232[V]로 유지되어, 과전압 현상을 해소시킬 수 있음을 알 수 있다.



[그림 7] 수용가 과전압 시 VPL 장치의 운용특성

한편, 수용가 저전압에 따른 30kW급 VPL 장치의 운용특성을 나타내면 그림 8과 같다. 여기서, 그림 8의 A 영역은 피크부하시 수용가의 전압 특성을 나타내고, B 영역은 VPL 플랫폼과 DR

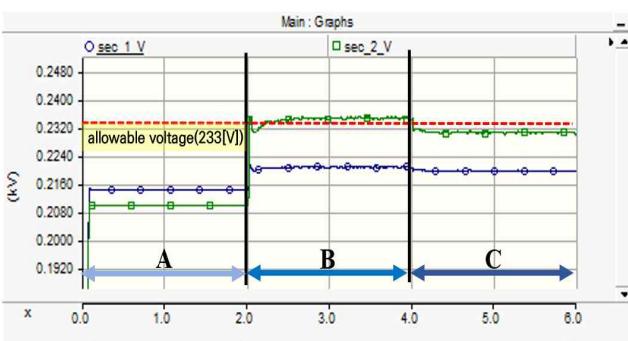
수용가가 협조하여 0.5[kW]의 부하를 삭감한 경우이며, C 영역은 VPL용 플랫폼의 제어신호에 의하여 ESS가 방전 동작을 수행한 상태를 나타낸다. 그림 8의 A 영역은 피크부하 시에 1번, 2번 구간의 수용가 전압이 각각 203[V], 201[V]로 산정되어, 저전압 현상이 발생함을 알 수 있다. 또한, B 영역은 DR 수용가의 수요 반응(부하 삭감)에 의하여, 1번과 2번 구간 수용가 전압이 각각 205[V], 203[V]로 상승함을 알 수 있다. 한편, C 영역은 본 논문에서 제안한 VPL 장치의 3[kW] 방전 동작에 의하여, 수용가 전압이 각각 208[V], 210[V]로 상승함을 알 수 있다.



[그림 8] 수용가 저전압 시 VPL 장치의 운용특성

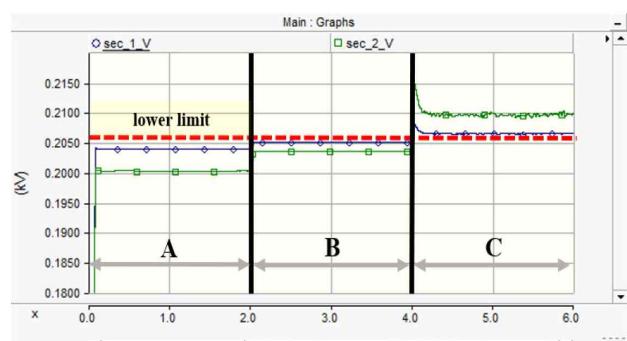
5.3 PSCAD/EMTDC 모델링에 의한 VPL의 운용특성

상기에서 제시한 시뮬레이션 조건을 바탕으로, 수용가 과전압에 따른 30kW급 VPL 장치의 운용특성을 나타내면 그림 9와 같다. 여기서, 그림 9의 A 영역은 태양광전원이 연계되기 전의 정상상태를 나타내고, B 영역은 15[kW]의 태양광전원이 연계된 상태이며, C 영역은 VPL용 플랫폼의 제어신호에 의하여, ESS가 충전동작을 수행한다. 또한, 그림 9의 A 영역과 같이 1번, 2번 구간의 수용가 전압은 각각 215[V], 209[V]로 산정된다. 한편, B 영역은 태양광전원의 역조류로 인하여 2번 구간 수용가 전압이 234[V]로 산정되어, 과전압 현상이 발생함을 알 수 있다. C 영역에서는 본 논문에서 제안한 VPL 장치의 2[kW] 충전 동작에 의하여, 수용가의 전압이 232[V]로 유지되어, 과전압 현상을 해소시킬 수 있음을 알 수 있다.



[그림 9] 수용가 과전압 시 VPL 장치의 운용특성

한편, 수용가 저전압에 따른 30kW급 VPL 장치의 운용특성을 나타내면 그림 10과 같다. 여기서, 그림 8의 A 영역은 피크부하시 수용가의 전압 특성을 나타내고, B 영역은 VPL 플랫폼과 DR 수용가가 협조하여 0.5[kW]의 부하를 삭감한 경우이며, C 영역은 VPL용 플랫폼의 제어신호에 의하여 ESS가 방전 동작을 수행한 상태를 나타낸다. 그림 10의 A 영역은 피크부하시에 1번, 2번 구간의 수용가 전압이 각각 203[V], 201[V]로 산정되어, 저전압 현상이 발생함을 알 수 있다. 또한, B 영역은 DR 수용가의 수요 반응(부하 삭감)에 의하여, 1번과 2번 구간 수용가 전압이 각각 205[V], 203[V]로 상승함을 알 수 있다. 한편, C 영역은 본 논문에서 제안한 VPL 장치의 3[kW] 방전 동작에 의하여, 수용가 전압이 각각 208[V], 210[V]로 상승함을 알 수 있다.



[그림 10] 수용가 저전압 시 VPL 장치의 운용특성

6. 결 론

본 논문에서는 신재생에너지의 연계지점이나 수용가 말단 등에 설치하여, 신재생에너지의 수용성을 향상시킬 수 있는 가상전력선로 운용기술인 VPL 장치를 제안한다. 또한, 전력계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모의 배전계통부, 모의 태양광전원부, VPL 장치부 등으로 구성된 VPL 시험장치의 모델링을 수행하고, 이를 바탕으로 lab-scale의 30kW급 VPL 시험장치를 구현한다. 상기의 모델링과 시험장치를 바탕으로 VPL 장치의 운용특성을 평가한 결과, 수용가의 전압이 규정전압 범위를 벗어나는 경우, VPL 장치가 배전계통, 신재생에너지, 계통유연자원의 운용정보를 바탕으로 수용가의 전압을 규정전압 범위 이내로 조정하여, 신재생에너지의 수용성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] 이창우, 김영환, 김세호, “재생에너지 출력제한 최소화 에너지 믹스 및 저감 방안”, 조명·전기설비학회논문지, Vol.33, No.12, pp.41–48, 2019
- [2] 명호산, 김세호 “재생에너지 출력제한에 따른 출력량 배분 방안 연구”, 전기전자학회논문지, Vol.23, No. 1, pp. 173–180, 2019