신재생에너지 출력제한 개선을 위한 30kW급 VPL 시험장치 설계 및 구현

이수용*, 최성문*, 유현상*, 노성은*, 노대석*
*한국기술교육대학교
e-mail:lsy4570@kopo.ac.kr

Implementation of 30kW VPL Test Device to Improve Power Curtailment of Renewable Energy Sources

Soo-Yong Lee*, Sung-Moon Choi*, Hyun-Sang You*, Seong-Eun Rho*, Dae-Seok Rho*
*Korean University of Technology and Education

요 약

최근, 2030 탄소중립 선언 및 제10차 전력수급 기본계획에 따라 신재생에너지의 보급 속도가 급격히 증가하고 있지만, 전력공급과 수요의 불균형에 의해 신재생에너지 출력 제한이 빈번하게 발생하고 있는 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 추가적으로 선로를 증설하지 않고 출력 제한을 개선 시킬 수 있는 가상 전력선로 운영 기술인 VPL(virtual power line) 도입의 필요성이 대두되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 신재생에너지의 연계지점이나 수용가 말단 등에 ESS를 설치 및 운용하여 송·배전계통을 관리하는 VPL의 운용특성을 제시하고, VPL용 플랫폼 및 ESS부, 태양광전원장치부, 모의 선로장치부, 모의 부하장치부 등으로 구성된 30[kW]급 VPL 시험장치를 구현한다. 이를 바탕으로 VPL 시험장치의 운용 특성을 평가한 결과, 수용가의 과전압 및 저전압 문제가 발생할 경우 VPL이 수용가의 전압을 규정 전압 범위 이내로 유지시키고, 신재생에너지의 출력 제한을 개선 시킬 수 있음을 알 수 있다.

1. 서 론

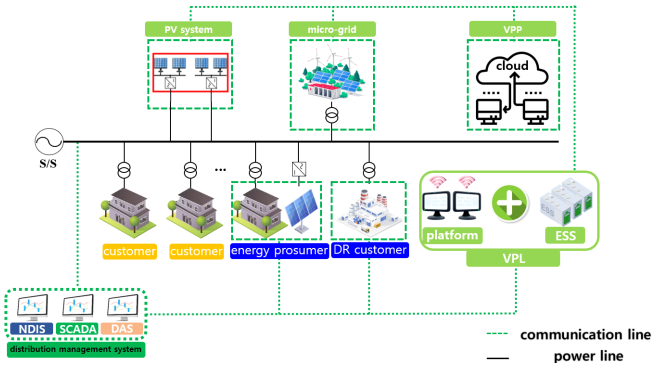
2030 탄소중립 선언과 제10차 전력수급 기본계획에 따라 신재생에너지의 보급 속도가 급격히 증가되고 있지만, 전력공급과 수요의 불균형에 의해 신재생에너지의 출력을 제한시키고 있는 사례가 다수 발생하고 있다. 특히, 제주도의 경우 carbon-free 정책에 의해 신재생에너지 점유율이 전력공급 설비용량의 40[%]까지 증가하여, 출력 제한 사례가 2022년 상반기 동안 총 80건이 보고되고 있어, 경제적으로 막대한 손실이 발생하고 있는 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 전력설비 인프라의 증설이 요구되지만, 막대한 건설비용과 오랜 건설 기간이 소요되어 이를 대응할 수 있는 연구의 필요성이 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 전력설비 인프라를 증설하지 않고 신재생에너지의 연계지점이나 수용가 말단 등에 ESS를 설치 및 운용하여 송·배전계통을 관리하는 VPL(virtual power line) 운용특성을 제시하고, VPL의 출력제한 개선을 위한 30[kW]급 VPL용 시험장치를 구현한다. 여기서, 모의시험 장치는 VPL용 플랫폼 및 ESS, 태양광전원, 모의 부하 등으로 구성하고, VPL의 ESS는 용량 60[kWh]의 배터리랙과 10[kW] PCS로 구성되며, 태양광전원은 DC 전원공급장치와 20[kW] 태양광 인버터로 구성한다. 이를 바탕으로 VPL의 운용특성 시험을 수행한 결과, 수용가의 과전압 및 저전압 문제가 발생하면, VPL이 수용가의 전압을 규정 전압 범위 이내로 유지시키고, 신재생에너지의 출력제한을 개선시킬 수 있음을 알 수 있다.

2. 신재생에너지 출력제한 개선을 위한 VPL의 운용특성

VPL은 그림 1과 같이 VPL 플랫폼과 VPL용 ESS로 구성되는데, VPL 플랫폼은 기존의 배전계통 운용시스템으로부터 배전계통 각 지점의 전압 및 전류 등의 배전계통 운용 정보를 실시간으로 수집하고, 신재생에너지의 출력과 계통 유연 자원의 운용 상황을 모니터링하며, VPL용 ESS는 배전계통 수용가에 전압 문제가 발생할 경우, VPL 플랫폼 제어 신호에 의하여 충·방전 동작을 수행한다. 즉, VPL은 송·배전 설비를 추가로 증설하거나 신설하지 않고, 신재생에너지의 연계지점이나 수용가 말단 등에 ESS를 설치 및 운용하여 송·배전계통을 관리하는 가상적인 전력선로 운용기술이다. 또한, VPL이 연계된 배전계통은 그림 2와 같이 기존의 배전계통을 비롯하

여 VPL(VPL용 플랫폼 및 ESS), 배전계통 운용시스템(NDIS, DAS, SCADA 등), 신재생에너지 및 계통 유연 자원(VPP, DR, 에너지 프로슈머) 등으로 구성된다.

[그림 1] VPL의 구성

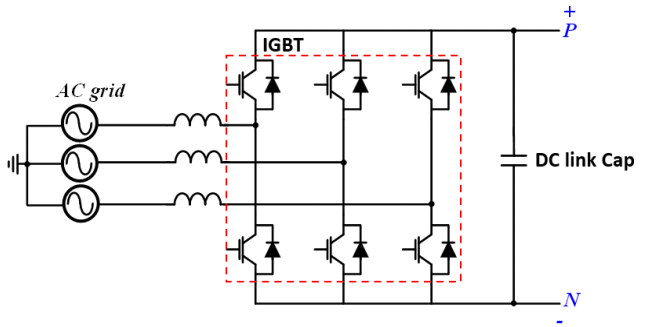


[그림 2] VPL이 연계된 배전계통

3. 신재생에너지 출력개선을 위한 30kW급 VPL 시험장치 구현

3.1 VPL용 ESS부

VPL용 ESS는 PCS와 배터리로 구성되는데, 먼저 PCS의 회로도를 나타내면 그림 3과 같다. 여기서 배터리의 충· 방전 기능을 가진 PCS는 DC 전원을 120° 위상차를 갖는 3상 AC로 변환시키며, 정격용량 10[kW], 효율 97.5[%], 스위칭 주파수는 4[kHz]이다. 또한, ESS의 배터리는 표 1과 같이 260[V](6직렬/1병렬), 60[kWh] 용량의 배터리랙으로 구성되며, ESS 배터리랙에 사용되는 리튬이온전지 모듈의 정격전압은 44[V], 정격용량 246[Ah]을 가진다.



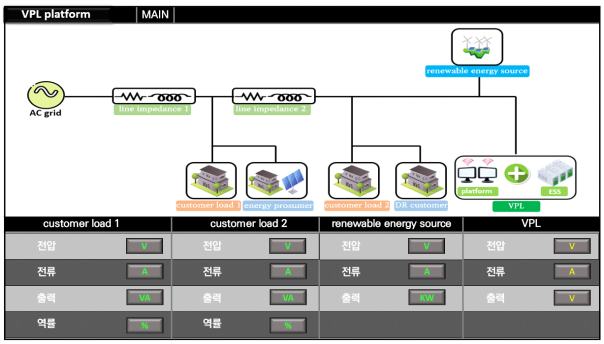
[그림 3] 10[kW]급 PCS 구성도

[표 1] 60[kWh] 배터리 랙

항목	내 역
정격전압[V]	263.52
정격용량[KWh]	64.82
운용전압[V]	230.4 ~ 293.4
충전모드	CC-CV
구성	6S1P
충전전류[A]	81.18
방전전류[A]	81.18

3.2 VPL용 플랫폼부

VPL용 플랫폼부는 계통의 운용 정보를 실시간으로 수집하여 VPL용 ESS를 제어해야 하므로, 본 논문에서는 그림 4와 같이 AUTO-BASE S/W와 PLC를 이용하여 VPL용 플랫폼부를 구현한다. 여기서, VPL용 플랫폼부는 수용가, 에너지프로슈머, DR 수용가, 신재생에너지전원의 운용 정보를 실시간으로 얻을 수 있다.



[그림 4] VPL 플랫폼부 메인화면

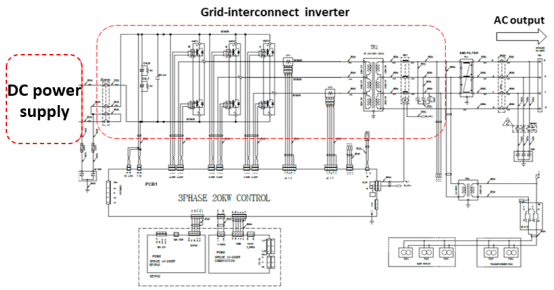
3.3 태양광 전원부

태양광 전원부를 실제 계통과 동일하게 모의하기 위하여, 본 논문에서는 DC 전원공급장치와 계통 연계용 태양광 인버터를 이용하여 태양광 전원부를 구성한다. 여기서, DC 전원공급장치는 그림 5와 같으며, 표 2와 같이 최대 20[KW]의 전력을 제어할 수 있다. 또한, 계통 연계용 태양광 인버터는 그림 6과 같이 20[KW]의 용량을 가지며, DC 전원공급장치의 전력을 120° 위상차를 갖는 3상 AC로 변환시킨다.

[그림 5] 20[kW]급 DC 파워서플라이

[표 2] DC 전원공급장치의 특성

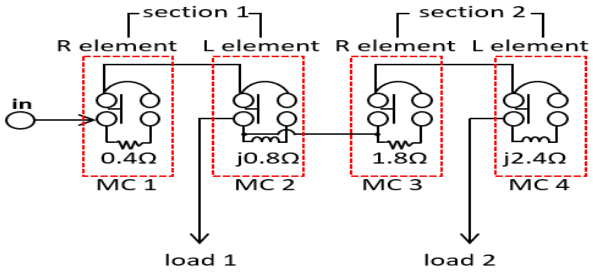
항목	내 역
정격전압[V]	600
정격전류[A]	33.3
정격용량[KW]	20



[그림 6] 계통 연계용 태양광 인버터부

3.4 모의 선로장치부

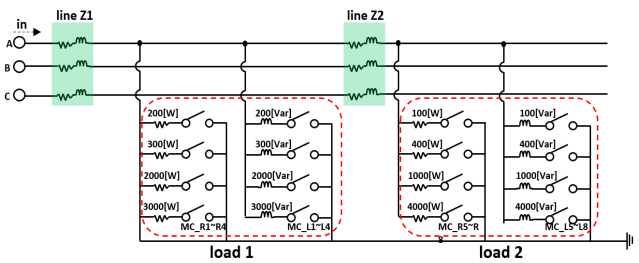
모의 선로장치부는 그림 7과 같이 저항(R)성분과 리액턴스(X)성분으로 구성되며, 1구간의 선로임피던스는 ACSR 160[mm^2]을 기준으로 0.4+j0.8[Ω], 2구간은ACSR 95[mm^2]을 기준으로 1.8+j2.4[Ω]로 상정한다.



[그림 7] 모의 선로장치의 구성도

3.5 모의 부하장치부

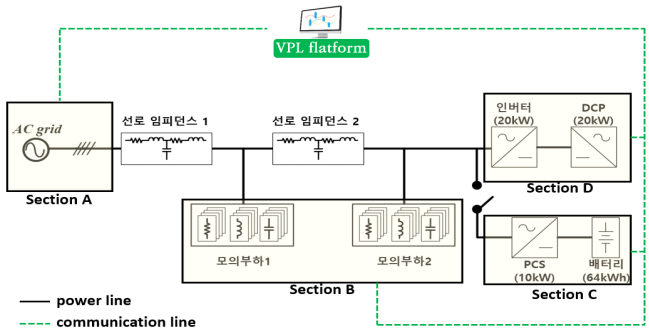
정임피던스 특성을 고려한 모의 부하장치는 그림 8과 같이 R(저항), L(리액터) 부하로 구성된다. 여기서, 1구간 부하는 상당 200[W], 300[W], 2,000[W], 3,000[W]로 구성되며 MC 접점에 의해 투입된다. 또한, 2구간 부하는 100[W], 400[W], 1,000[W], 4,000[W]로 구성된다.



[그림 8] 모의 부하장치의 구성도

3.6 전체 시스템

상기의 내용을 바탕으로, 신재생에너지 출력제한 개선을 위한 VPL의 전체 시스템을 나타내면 그림 9와 같다. 여기서, Section A는 AC 전원부, Section B는 모의 부하부, Section C는 VPL부, Section D는 신재생에너지 전원부를 나타낸다.

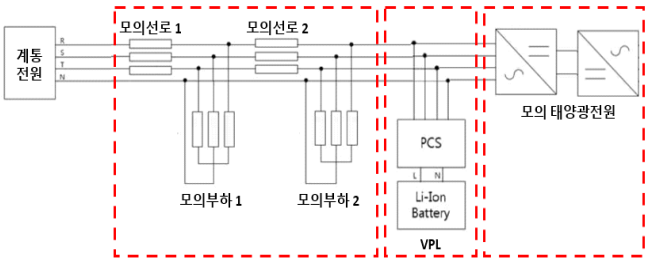


[그림 9] 전체 시스템 구성도

4. 시험 결과 및 분석

4.1 시험조건

VPL에 의한 신재생에너지 출력제한 개선을 평가하기 위한 시험조건은 그림 10과 표 3으로 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 10은 VPL이 연계된 모의 배전계통을 나타내며, 모의 선로 2개의 구간과 2개의 모의 부하, 모의 태양광전원, VPL로 구성된다. 또한, 표 3은 수용가의 과전압 및 저전압을 발생시키기 위한 시험조건으로 상정한다. 이를 바탕으로, 신재생에너지 출력제한 개선을 위한 VPL 운용특성을 평가한다.



[그림 10] VPL 특성시험 계통도

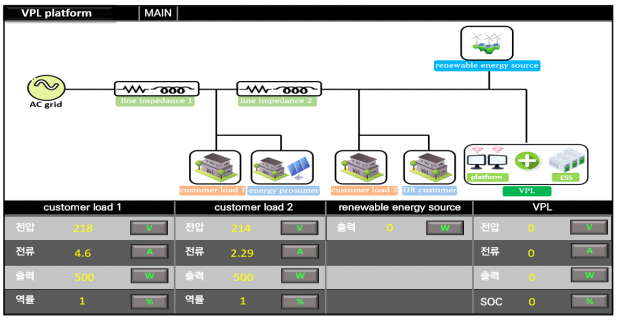
[표 3] 시험 조건

구분	내 역			
시나리오	수용가 부하 1 [W]	수용가 부하 2 [W]	PV/ESS[kW]	DR[W]
과전압	500	500	2500/0	–
저전압	2,000	1,000	0/500	500

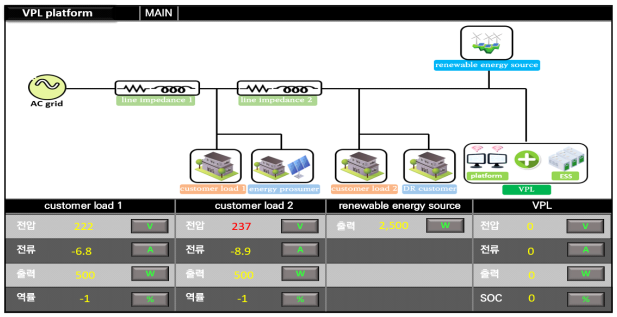
4.2 수용가 과전압 시 VPL 운용특성

상기에서 제시한 시험조건을 바탕으로, 수용가 과전압에 따른 VPL의 운용특성을 나타내면 그림 11과 같다. 여기서,

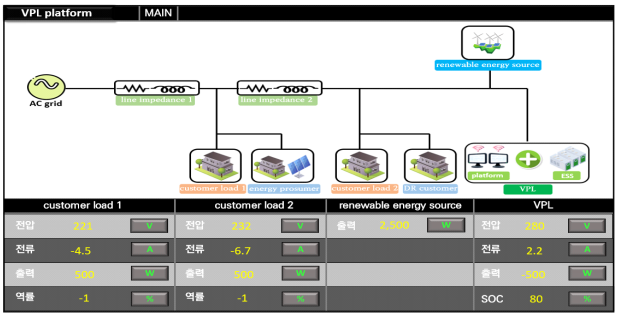
그림 11의 (a)와 같이 수용가의 전압은 태양광 전원이 연계되지 않아, 1번 구간 수용가는 218[V], 2번 구간 수용가는 214[V]로 산정됨을 알 수 있다. 또한, 그림 11의 (b)와 같이 태양광전원 2.5[kW]가 연계된 경우, 태양광 전원의 역조류에 의해 1번 수용가의 전압은 222[V], 2번 수용가의 전압은 237[V]로 산정되어 2번 수용가의 전압이 규정 전압 범위를 벗어남을 알 수 있다. 이때, 그림 11의 (c)와 같이 VPL용 ESS가 0.5[kW]로 충전 동작을 수행하면 태양광 전원의 역조류를 흡수하여 2번 수용가의 전압이 232[V]로 산정되어, 과전압 현상을 해소시킬 수 있음을 알 수 있다.



(a) 정상상태 시 수용가의 전압특성



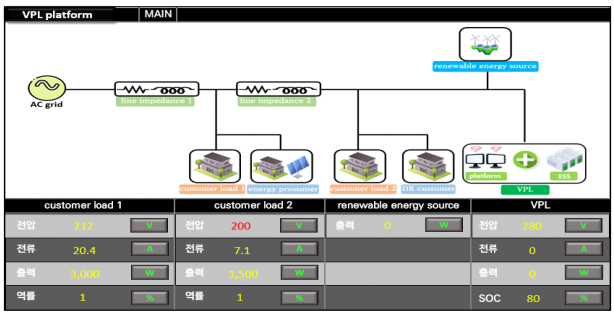
(b) 태양광 전원의 역조류에 의한 수용가의 과전압 특성



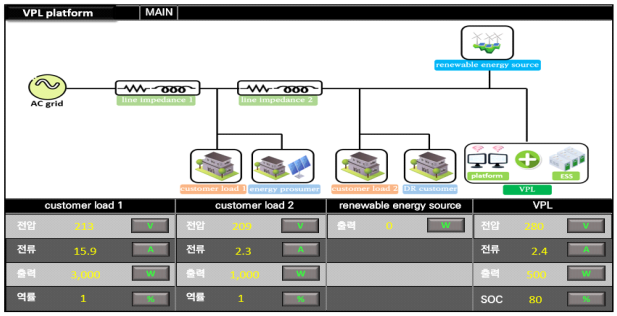
(c) VPL에 의한 수용가의 전압특성
[그림 11] 수용가 과전압 시 VPL 운용특성

4.3 수용가 저전압 시 VPL 운용특성

상기에서 제시한 시험조건을 바탕으로, 수용가 저전압에 따른 VPL의 운용특성을 나타내면 그림 12와 같다. 여기서, 그림 12의 (a)와 같이 수용가의 전압은 태양광 전원이 연계되지 않아, 1번 구간 수용가는 212[V], 2번 구간 수용가는 200[V]로 산정되어 수용가 저전압 현상이 발생함을 알 수 있다. 이때, 그림 12의 (b)와 같이, 수용가는 -DR을 500[W], VPL용 ESS는 0.5[kW] 방전 동작을 수행하면 2번 수용가의 전압이 209[V]로 산정되어, 수용가의 저전압 현상을 해소시킬 수 있음을 알 수 있다.



(a) 수용가의 저전압 특성



(b) VPL에 의한 수용가의 전압특성
[그림 12] 수용가 저전압 시 VPL 운용특성

5. 결 론

본 논문에서는 신재생에너지의 연계지점이나 수용가 말단 등에 ESS를 설치 및 운용하여 송·배전계통을 관리하는 VPL의 운용특성을 제시하고, VPL용 플랫폼 및 ESS, 태양광전원, 모의 선로장치, 모의 부하장치 등으로 구성된 30[kW]급 VPL 시험장치를 구현한다. 이를 바탕으로 VPL 시험장치의 운용특성을 평가한 결과, 수용가의 전압을 규정전압 범위 이내로 유지 시킬 수 있어, VPL이 신재생에너지의 출력 제한을 개선 시킬 수 있음을 알 수 있다.

참고문헌

[1] S. Y. Lim, S. Y Park, S. H. Yoo, “The Economic Effects of the New and Renewable Energies Sector”.Journal of Energy Engineering ,vol. 23, no. 4, pp. 31-40, 2014.

[2] Hun Lee, Will the use of renewable energy in the enterprise expand : 185 companies worldwide including Google GM Apple_Government, October Green Support for joining RE100, including the introduction of a new system, Journal of Electrical World Monthly Magazine, pp. 25-28