

신재생에너지 출력 제한 개선을 위한 30kW급 VPL 시험장치 구현에 관한 연구

이수용**, 김찬혁**, 박동명*, 최형석*, 노대석*

*한국기술교육대학교, **한국폴리텍대학

e-mail:lsy4570@kopo.ac.kr

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

Soo-Yong Lee **, Chan-Hyeok Kim **, Dong-Myoung Park *, Hyoung-Seok Choi *, Dae-Seok Rho *

*Korean University of Technology and Education, **Korea Polytechnics

요약

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 개선시킬 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 ESS, 태양광전원, 모의 수용가부하 등으로 구성된 30kW급 VPL 시험장치를 구현한다. 이를 바탕으로 VPL 시험장치의 운용특성을 평가한 결과, 태양광 역조류에 의해 수용가의 과전압이 발생한 경우 VPL용 ESS가 충전 동작을 수행하여 수용가의 전압을 규정전압 범위 이내로 유지할 수 있어 VPL이 신재생에너지의 출력 제한을 개선시킬 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

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 출력 제한 개선을 위한 30kW급 VPL용 시험장치를 구현하였다. 여기서, 모의시험 장치는 VPL용 ESS, 태양광전원, 모의 수용가부하 등으로 구성하고, VPL의 ESS는 용량

60[kWh]의 배터리랙과 10[kW] PCS로 구성되며, 태양광전원은 DC 전원공급장치와 30[kW] 태양광 인버터로 구성하였다. 또한, 모의 수용가부하는 30[kW] 모의 부하장치와 모의 선로로 구성하였다. 이를 바탕으로 VPL의 운용특성 시험을 수행한 결과, 태양광전원이 연계되어 역조류에 의해 수용가에 과전압이 발생하면 VPL용 ESS가 충전 동작을 수행하여 과전압 현상을 해결할 수 있음을 확인하였다.

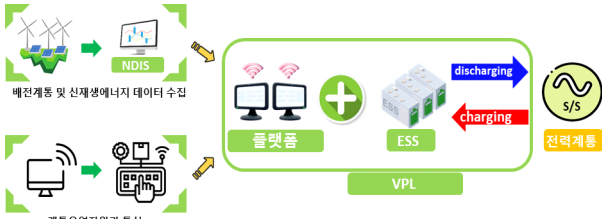
2. VPL의 운용특성

2.1 VPL의 구성

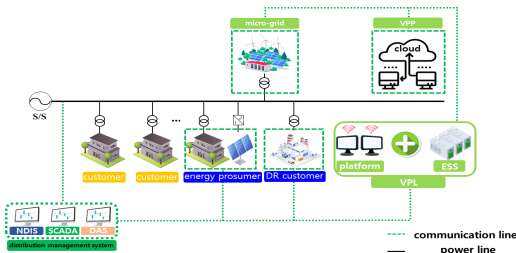
VPL은 그림 1과 같이 VPL 플랫폼과 VPL용 ESS로 구성되는데, VPL 플랫폼은 기존의 배전계통 운용시스템으로부터 배전계통 각 지점의 전압 및 전류 등의 배전계통 운용정보를 실시간으로 수집하고, 신재생에너지의 출력과 계통 유연 자원의 운용상황을 모니터링하며, VPL용 ESS는 배전계통 수용가에 전압 문제가 발생할 경우, VPL 플랫폼 제어 신호에 의하여 충·방전 동작을 수행한다. 즉, VPL은 송·배전 설비를 추가로 증설하거나 신설하지 않고, 신재생에너지의

연계지점이나 수용가 말단 등에 ESS를 설치 및 운용하여 송·배전계통을 관리하는 가상적인 전력선로 운용기술이다.

또한, VPL이 연계된 배전계통은 그림 2와 같이 기존의 배전계통을 비롯하여 VPL(VPL용 ESS 및 플랫폼), 배전계통 운용시스템(NDIS, DAS, SCADA 등), 신재생에너지 및 계통 유연 자원(VPP, DR, 에너지 프로슈머) 등으로 구성된다.



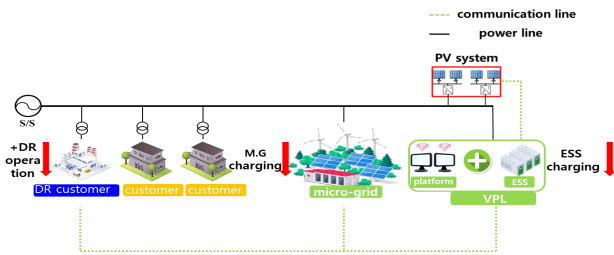
[그림 1] VPL의 구성



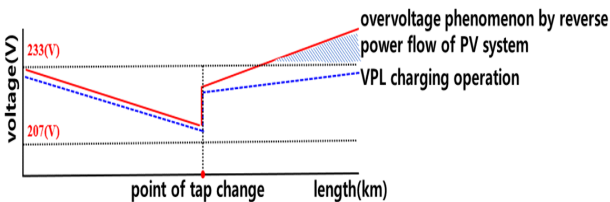
[그림 2] VPL이 연계된 배전계통

2.2 VPL의 운용특성

수용가 전압이 규정 전압 범위를 벗어난 경우 이를 해결하기 위한 VPL의 운용방안을 나타내면 그림 3과 같다. 여기서, 그림 3의 (a)와 같이 배전선로 말단에 연계된 태양광전원의 역조류에 의하여 수용가의 과전압 현상이 발생할 경우, VPL은 배전계통과 태양광전원의 운용정보를 바탕으로 VPL용 ESS와 계통에 연계된 마이크로그리드의 ESS를 충전시키고, DR 수용가에게 (+)DR을 요청하여 그림 3의 (b)와 같이 수용가의 전압을 적정하게 유지시킬 수 있다.



(a) 과전압 시 VPL 운용개념



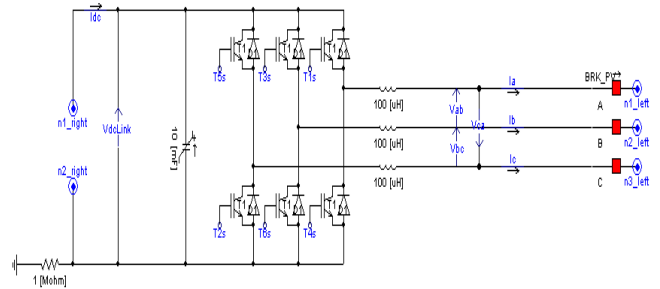
(b) VPL 운용에 의한 수용가 전압 특성

[그림 3] VPL이 연계된 배전계통의 운용특성

3. 신재생에너지 출력개선을 위한 30kW급 VPL 시험장치 구현

3.1 VPL용 ESS

VPL용 ESS는 PCS와 배터리로 구성되는데, 먼저 PCS의 회로도도를 나타내면 그림 4와 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.



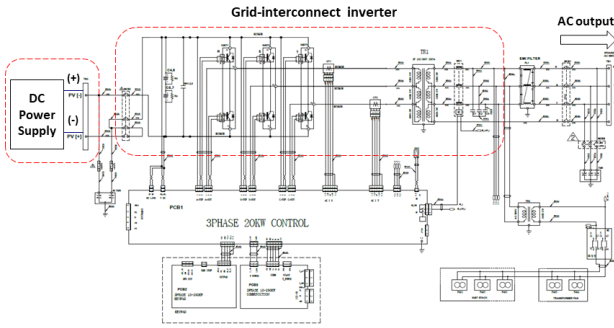
[그림 4] 10[kW]급 PCS 구성도

[표 1] 60[kWh] 배터리 랙

| 항목 | 내역 |
|-------------------|------------------|
| nominal voltage | 263.52(V) |
| nominal capacity | 246(Ah) |
| energy | 64.82(kWh) |
| operating voltage | 230.4 ~ 293.4(V) |
| charge method | CC-CV |
| configuration | 6S1P |
| charge current | 81.18(A) |
| discharge current | 81.18(A) |

3.2 태양광전원

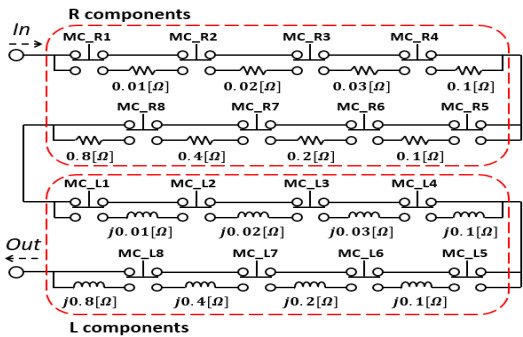
태양광전원의 출력을 실 계통과 동일하게 모의하기 위하여, 본 논문에서 구현한 모의 태양광전원은 그림 5와 같이 계통연계용 3상 인버터(30[kW])와 DC 전원공급장치(20[kW])로 구성되며 전압 및 전류를 가변시켜 출력을 조절할 수 있다.



[그림 5] 태양광 전원부 모의장치 구성도

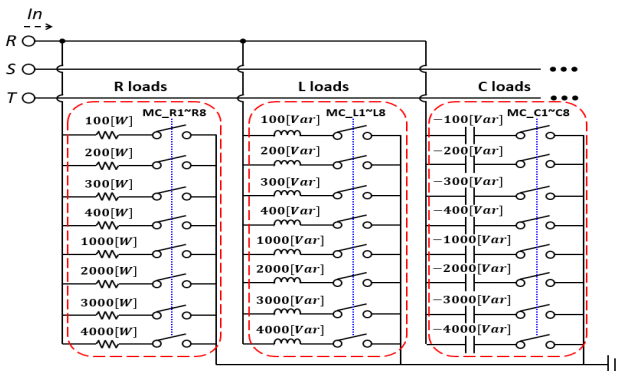
3.3 모의 수용가 부하

모의 수용가 부하는 모의 선로장치와 모의 수용가 부하장치로 구성된다. 여기서, 모의 선로장치는 그림 6과 같이 저항(R)성분과 리액턴스(X)성분으로 구성되며, 저항과 리액턴스의 크기는 MC에 의하여 0.1~1.6[Ω]까지 0.1[Ω]단위로 가변되도록 구현한다.



[그림 6] 모의 선로장치의 구성도

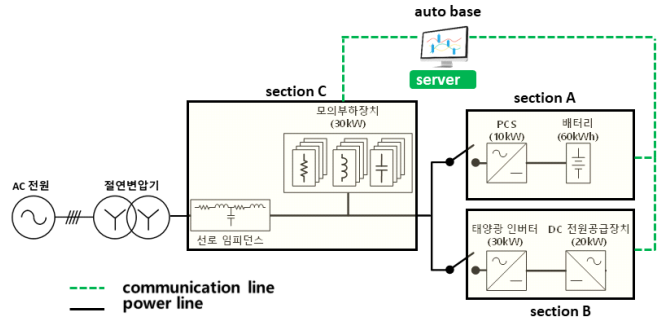
또한, 정임피던스 특성을 이용한 모의 수용가 부하장치는 그림 7과 같이 R(저항), L(리액터), C(콘덴서)부하로 구성된다. 여기서, R부하는 상당 100[W]~10[kW]로 구성되며 100[W] 단위로 가변할 수 있도록 MC 접점을 이용한다. 마찬가지로 L부하와 C부하도 100[Var]~10[kVar]로 구성되며 100 [Var] 단위로 가변할 수 있다.



[그림 7] 모의 부하장치의 구성도

3.4 전체 시스템

상기의 내용을 바탕으로, 전체 시스템을 나타내면 그림 8과 같다. 여기서, Section A는 VPL용 ESS, Section B는 태양광전원, Section C는 모의 수용가부하를 나타낸다.

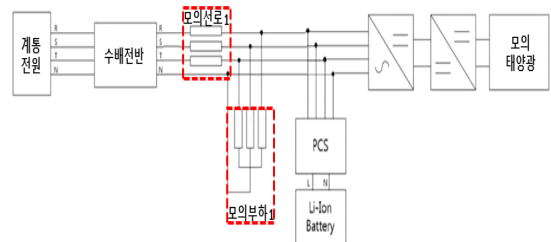


[그림 8] 전체 시스템 구성도

4. 시험 결과 및 분석

4.1 시험조건

VPL에 의한 신재생에너지 수용성 향상을 평가하기 위한 시험 조건은 그림 9와 표 2와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 9는 VPL이 연계된 모의 배전계통을 나타내며, 모의 선로는 1개의 구간과 모의 부하로 구성된다. 또한, 표 2는 시험 조건을 나타내는데 부하의 크기는 1,100[VA], 역률은 0.9, 선로 임피던스는 0.8 + j1.6[Ω]으로 상정한다. 이를 바탕으로, 태양광에 역조류에 의한 수용가 과전압 발생 시 VPL에 의한 운용특성을 평가한다.



[그림 9] 모의 시험계통

[표 2] 시험 조건

| 구분 | 내역 | | |
|------|------------|--------|----------|
| 시나리오 | 수용가 부하[VA] | PV[kW] | ESS[kWh] |
| 1 | 1,100 | - | - |
| 2 | 1,100 | 2 | - |
| 3 | 1,100 | 4 | - |
| 4 | 1,100 | 6 | - |
| 5 | 1,100 | 6 | 1 |
| 6 | 1,100 | 6 | 2 |
| 7 | 1,100 | 6 | 3 |

4.2 수용가 과전압 시 VPL에 의한 운용특성

상기에서 제시한 시험 조건을 바탕으로, 수용가 과전압에 따른 VPL의 운용특성을 나타내면 그림 10과 같다. 여기서, 그림 10의 (a)는 시나리오 1번을 나타내는데, 태양광전원이 연계되지 않아, 수용가의 전압은 최대 212[V]로 산정되어 규정전압 이내로 유지됨을 알 수 있다. 한편, 그림 10의 (b)와 같이 태양광전원 6[kW]가 연계된 경우, 태양광전원의 역조류에 의해 수용가의 전압은 최대 240[V]로 산정되어 규정전압 범위를 벗어남을 알 수 있다. 이때, VPL용 ESS가 3[kW] 충전동작을 수행하면 그림 10의 (c)와 같다. 이 그림에서와 같이 수용가의 전압은 최대 224[V]로 산정되는데, VPL용 ESS가 태양광전원의 역조류를 흡수하여 규정전압 범위 이내로 유지시켜, 과전압 현상을 해소시킬 수 있음을 알 수 있다. 상기의 모든 시나리오를 종합하여 나타내면 표 3과 같다.

[표 3] 종합 분석

| 구분 | 내역 | | | |
|----|------------|--------|----------|-----------|
| | 수용가 부하[VA] | PV[kW] | ESS[kWh] | 수용가 전압[V] |
| 1 | 1,100 | - | - | 212 |
| 2 | 1,100 | 2 | - | 220 |
| 3 | 1,100 | 4 | - | 226 |
| 4 | 1,100 | 6 | - | 240 |
| 5 | 1,100 | 6 | 1 | 229 |
| 6 | 1,100 | 6 | 2 | 226 |
| 7 | 1,100 | 6 | 3 | 224 |

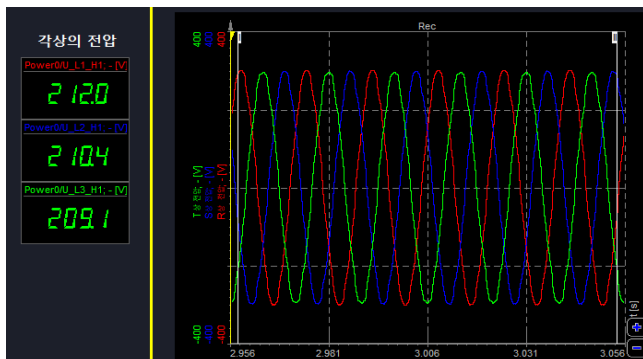
5. 결 론

본 논문에서는 신재생에너지의 연계지점이나 수용가 말단 등에 ESS를 설치 및 운용하여 송·배전계통을 관리하는 VPL의 운용특성을 제시하고, VPL용 ESS, 태양광전원, 모의 수용가부하 등으로 구성된 30[kW]급 VPL 시험장치를 구현한다. 이를 바탕으로 VPL 시험장치의 운용특성을 평가한 결과, 태양광 역조류에 의해 수용가의 과전압이 발생한 경우, VPL용 ESS가 충전 동작을 수행하여 수용가의 전압을 규정전압 범위 이내로 유지시킬 수 있어, VPL이 신재생에너지의 출력 제한을 개선시킬 수 있음을 알 수 있다.

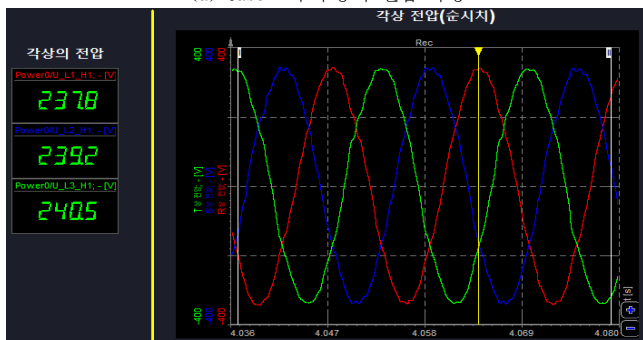
참고문헌

[1] 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, 2019.8.

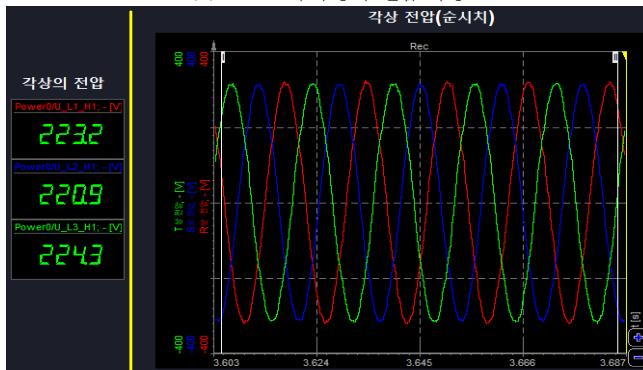
[2] S. Y. Lim, S. Y Park, S. H. Yoo, "The Economic Effects of the New and Renewable Energies Sector".Journal of Energy Engineering ,vol. 23, no. 4, pp. 31-40, 2014.



(a) case 1의 수용가 전압 특성



(b) case 4의 수용가 전압 특성



(c) case 7의 수용가 전압 특성

[그림 10] 과전압 시 VPL의 운용특성