

태양광 발전량 예측과 전압 협조를 통한 배전선로 혼잡성 해결

이현명*, 김재언*, 김조섭**

충북대학교*, 부강이엔에스**

caer0903@naver.com

Resolving Congestion of Distribution Lines through PV Generation Forecast and Voltage Cooperation

Lee Hyeon Myeong*, Kim Jae Eon*, Kim Jo Seob**

Chungbuk National Univ*, BUGANG E&S**

요약

본 논문은 태양광 발전 출력으로 인해 발생 할 수 있는 배전선로 과전압 문제를 대비하고 해결할 수 있는 방법을 제시한다. 태양광 발전 설비 도입 증가로 선로 혼잡성 문제가 예상되며, 태양광 발전 설비의 연계 용량이나 위치에 따라 선로 전압 상한 범위를 초과하는 문제가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 태양광 발전량을 예측함과 동시에 전력 보조 서비스를 거래를 통해 과전압 문제를 예방 및 해결한다. 과전압 문제가 발생할 때 같은 선로에 연계된 분산전원이 전압협조 제어를 함으로써 과전압을 해결하는 것이다. 이 상황을 PSCAD/EMTDC로 모의 및 검증하였으며, 협조 제어에 따른 기본 거래 규칙을 제시한다.

I. 서론

최근 환경적인 문제를 대비하기 위해 화석 연료 발전으로부터 신재생 에너지원으로서의 변화가 진행되고 있다. 9차 전력수급 기본계획에 따르면 2022년 신재생 에너지가 차지하는 계통 비중은 20.6[%], 29.4[GW]를 전망한다.[1] 향후 태양광을 필두로 한 더 많은 신재생 에너지원이 보급될 것이라 예상하며 이러한 변화는 기존 계통의 안정성을 저해하는 요인이 될 것이다.[2]

상기 기술한 배경에 따라 태양광 발전설비의 도입으로 인해 선로의 전압 상한 범위를 벗어나는 과전압 문제가 예상된다. 태양광 발전설비가 선로 중간 혹은 말단에 연계되는 경우, 발전 출력으로 인한 전압 상승이 발생하는 것이다. 이는 태양광 발전설비의 전력 공급 비중이 높아질수록 더욱 빈번하게 발생할 것이며 과전압의 크기 또한 커질 수 있다.[3]

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 태양광 발전량을 예측하여 선로 과전압을 예측하고, 보조 서비스 거래를 통해 과전압을 해소하는 방법을 제시한다. 보조 서비스 거래는 동일 선로에 연계된 분산전원의 무효 전력 협조와 전기자동차 충전 협조가 해당된다.

II. 본론

II. I. 태양광 발전 출력에 의한 선로 전압변동

태양광 발전 설비 연계 시 부하단 전압 상승을 유발할 수 있다. 이를 나타내는 전력 조류 흐름을 <그림 1>에 나타냈다. 또한 태양광 발전의 전력 조류에 의한 전압 변동을 <식 1>에 나타냈다.[4] 계통에서 공급하는 전력을 P 와 Q 로, 부하 전력을 P_L 과 Q_L 로 표기하고 태양광 발전 전력을 P_{PV} 와 Q_{PV} 로 표기하였다. <식 1>을 통해 태양광 발전으로 인한 유효전력이 부하의 유효전력보다 크면 수전단 전압 V_R 이 상승함을 보여준다. 또한 태양광 발전으로 인한 무효전력이 수전단 전압에 관여함을 의미한다.

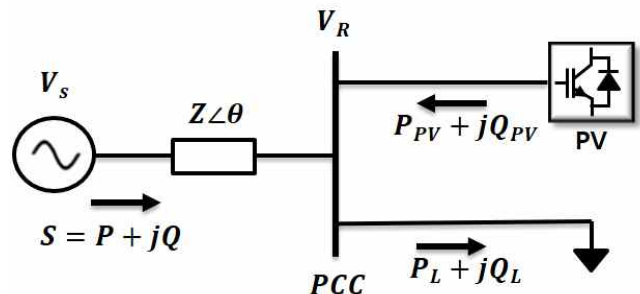


그림 1 태양광 발전 설비 연계 시 전력조류

$$\Delta V = \frac{PR + XQ}{V_R} = \frac{R(P_L - P_{PV}) + X(Q_L \pm Q_{PV})}{V_R} \quad (1)$$

II. II. 전압 협조

태양광 발전 출력으로 인한 전압 상승을 해소하여 선로 전압 유지 범위를 준수해야 한다. 전압 상승을 억제하기 위해 <식 1>에 의거한 두 가지 보조서비스 거래를 제시한다. 첫 번째는 분산전원의 무효전력 제어 협조이다. 보통 특고압, 고압 계통의 선로 임피던스를 고려하면 R 성분에 비해 X 성분이 크다. 이는 유효 전력 보상보다 무효 전력 보상이 부하단 전압 변동에 유의미함을 나타낸다. 두 번째는 전기자동차 유효전력 충전 및 무효전력 흡수 협조이다. V2G(Vehicle to Grid)가 상용화를 전제한다. 무효 전력 제어를 통한 전압 상승을 보상하고, 협조에 따른 인센티브로 충전 요금을 낮추어 보상한다. 이러한 전압 보조서비스 거래 순서도를 <그림 2>에 나타냈다.

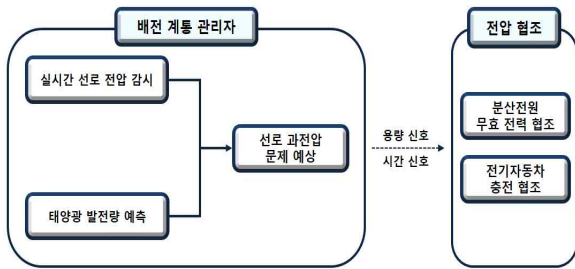


그림 2 전압 보조서비스 거래 순서도

II. III. 시뮬레이션

상기 2.1 절의 상황과 2.2절의 해결 방법을 모의하기 위한 시뮬레이션 구성을 <그림 3>에 나타냈다. 154/22.9[kV] 배전용 변전소로부터 1개의 배전선로를 구성하였으며, 선로 인입구는 $160[mm^2]$, 말단은 $58[mm^2]$ 선종으로 구성하였다. 선로에 부하와 에너지 저장 장치와 같은 분산전원, EV 그리고 선로 말단에 태양광 발전 설비가 연계된다. 선로 말단의 태양광 설비 출력으로 인한 특정 시간대에 과전압이 예상되는 상황이다.

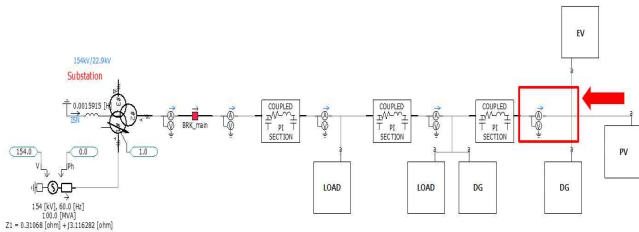


그림 3 시뮬레이션 시스템 구성

위의 시스템 구성에서 태양광 발전 출력은 기상변수에 의존하며, 태양광 모듈 입력 변수로 일사량과 기온을 고려하여 태양광 발전 출력이 결정된다. 또한 태양광 발전 출력이 최대가 되는 시점에 PCC(Point of Common Coupling)단 전압이 유지 상한 범위를 벗어나는 결과를 <그림 4>에 나타냈다.

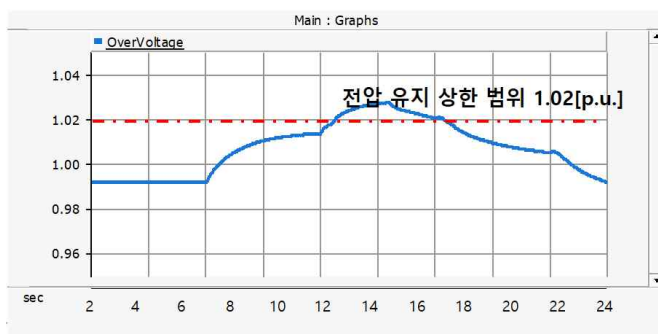


그림 4 태양광 발전 출력에 의한 선로 과전압 파형

태양광 발전 출력에 의한 전압 상승을 보상하기 위한 분산전원 및 EV의 협조 제어를 실시한 결과를 <그림 5>에 나타냈다. 분산전원과 EV의 무효전력 제어를 위해 <그림 6>의 제어기를 추가했다. 인버터 전류제어기에 PCC단 전압을 1[p.u.]로 만드는 무효 전력 제어 기능을 추가함으로써 전압 변동 시 무효전력을 보상할 수 있다.

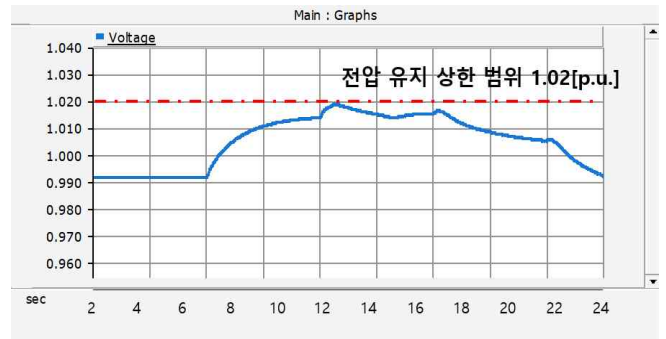


그림 5 분산전원과 EV 협조 제어로 전압 파형

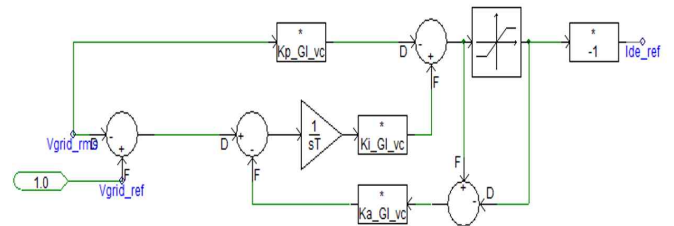


그림 6 전압 안정화를 위한 무효전력 제어기

III. 결 론

신재생 에너지가 차지하는 계통 비중은 날이 증가하고 있으며 이는 기존 계통의 안정성을 저해한다. 본 논문에서는 태양광 발전 출력으로 인한 전압 상승을 분산전원과 EV의 보조서비스 협조를 통해 해소하는 방법을 제시했다. 또한 협조 운전에 따른 보조서비스 거래 순서도를 제시했다. 이를 위해 분산전원 인버터는 IEC 61850-90-7 혹은 KS C IEC 62786과 같은 분산형 전원의 계통연계 규정을 준수하고 기능을 갖춰야 할 필요성이 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2020R1A6A1A12047945)

참 고 문 헌

- [1] 산업통상자원부, “제 9차 전력수급기본계획”, 2020
- [2] Callaway L, Elberg R, “Executive Summary: DER management technologies”, Navigant Research, pp. 1-2, 2016.
- [3] Zhao J, Arefi A, Borghetti A, Delarestaghi J. M, Shafiullah, “Characterization of Congestion in Distribution Network Considering High Penetration of PV Generation and EVs”, 2019 IEEE Power & Energy Society General Meeting(PESGM), Jan 2020.
- [4] Yashodhan P. Agalgaonkar, Bikash C. Pal & Rabih A. Jabr, “Distribution Voltage Control Considering the Impact of PV Generation on Tap Changers and Autonomous Regulators, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 29, No. 1, pp. 182-192, Jan 2014.