

SVR의 LDC방식에 의한 태양광전원의 수용성 향상 방안에 관한 연구

이세연*, 노대석**

*한국폴리텍대학, **한국기술교육대학교 전기공학과
e-mail:seyeonlee@kopo.ac.kr

A Study on Hosting Capacity of PV System Using LDC Method of SVR

Se-Yeon Lee*, Dae-Seok Rho**

*Korea Polytechnic University,

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

요 약

최근, 정부의 재생에너지 3020 정책에 따라 태양광전원 등의 신재생에너지전원을 확대하는 보급 사업이 적극적으로 시행되고 있다. 하지만, 대용량의 태양광전원이 배전계통에 연계되는 경우, 수용가전압이 규정전압 범위를 벗어나게 되는 현상이 발생할 수 있어, 태양광전원의 수용성이 저하되어 보급이 지연될 가능성이 있다. 따라서, 본 논문에서는 대용량의 태양광전원이 배전계통에 연계될 경우, 태양광전원의 수용성을 향상시키기 위하여, 선로전압조정장치(step voltage regulator, SVR)의 LDC(line drop compensation, LDC)방식에 의한 태양광전원의 수용성 향상 평가알고리즘을 제시한다. 또한, 배전계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여, LDC방식의 SVR과 대용량의 태양광전원 등으로 구성된 복합 배전계통의 모델링을 제시한다. 이를 바탕으로, SVR의 운용방식에 따른 태양광전원의 수용성을 비교·분석한 결과, 본 논문에서 제안한 LDC방식에 의한 태양광전원의 수용성 향상 평가알고리즘의 유용성을 확인하였다.

1. 서 론

최근, 정부는 탈원전 및 미세먼지 대응, 온실가스 감축을 위해 신재생에너지 발전 비중을 2040년까지 30~35[%]로 늘릴 계획을 발표하였으며, 태양광전원 등의 신재생에너지전원을 확대하는 보급 사업이 적극적으로 시행되고 있다. 하지만, 대용량의 태양광전원이 배전계통에 연계되면, 연계용량 및 연계구간에 따라 수용가전압이 규정전압 범위를 벗어나게 되는 현상이 발생할 수 있어, 태양광전원의 수용성이 저하될 가능성이 있다. 이러한 배경으로 선로전압조정장치(step voltage regulator, SVR)를 도입하여, 대용량 태양광전원의 배전계통 연계에 의한 수용가의 과전압현상을 해결하고, 태양광전원의 수용성을 향상시키기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

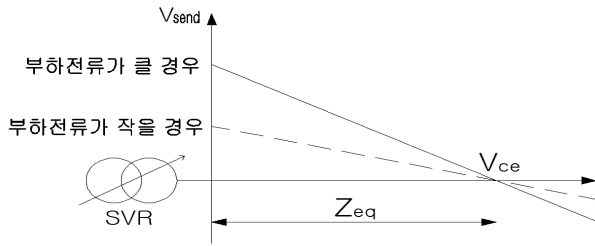
따라서, 본 논문에서는 대용량의 태양광전원이 배전계통에 연계될 경우, SVR의 선로전압강하보상(line drop compensator, LDC)방식에 의한 태양광전원의 수용성 향상 평가알고리즘을 제시한다. 즉, 태양광전원의 연계용량, SVR의 설치 유·무 및 운용방식 등의 다양한 운용시나리오에 기반하여 태양광전원의 수용성을 평가한다. 또한, 배전계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여, LDC방식의

SVR과 대용량의 태양광전원 등으로 구성된 복합 배전계통의 모델링을 제안한다. 이를 바탕으로, SVR의 운용방식에 의한 태양광전원의 수용성을 비교·분석한 결과, 본 논문에서 제안한 LDC방식에 의한 태양광전원의 수용성 향상 평가알고리즘의 유용성을 확인하였다.

2. SVR의 운용 특성분석

SVR은 장거리 배전선로나 부하변동이 심한 고압 배전선로 등에서 필수적인 전압조정장치로서, 운용방식은 일정송출전압방식, 프로그램조정방식, LDC방식 등으로 나눌 수 있다. 일정송출전압방식은 부하량과 상관없이 송출전압을 일정하게 고정시켜 송출하는 방식(한전에서 사용하고 있는 방식)이며, 프로그램조정방식은 각 시간대별로 타임스위치의 지정에 의해 송출전압을 단계적으로 조정하는 방식이다. 또한, LDC방식은 그림 1과 같이 부하의 증감에 따라 변화하는 부하전류를 이용하여 SVR의 송출전압을 변경하는 방식이다. 미리 산출된 LDC정정치(부하중심점전압, 등가임피던스, 밴드폭값, 시지연값)에 의하여, 부하전류가 클 경우에는 배전선로의 전압강하가 커지게 되므로 송출전압을 높게 변경하고, 부하전류가 작을 경우에는 배전선로의 전압강하가 작아지므로 송출

전압을 낮게 변경하여 전압강하를 보상한다.



[그림 1] LDC방식의 전압조정 개념도

3. SVR의 LDC방식에 의한 태양광전원의 수용성 향상 평가알고리즘

대용량의 태양광전원이 배전계통에 연계되면, 연계용량 및 연계구간에 따라 수용가전압이 규정전압 범위를 벗어나게 되는 현상이 발생할 수 있어, 태양광전원의 수용성이 저하될 가능성이 있다. 따라서, 본 논문에서는 SVR의 LDC방식에 의한 태양광전원의 수용성 향상 평가알고리즘을 제시한다. 이에 대한 자세한 평가절차는 다음과 같다.

[Step 1] 선종 및 공장, 부하량, 태양광전원 연계용량 및 구간, SVR 위치, LDC정정치, 주상변압기 탭 전압 등의 배전계통 데이터를 입력한다.

[Step 2] 배전계통 운용방식을 초기값인 SVR이 미설치된 경우로 설정한다.

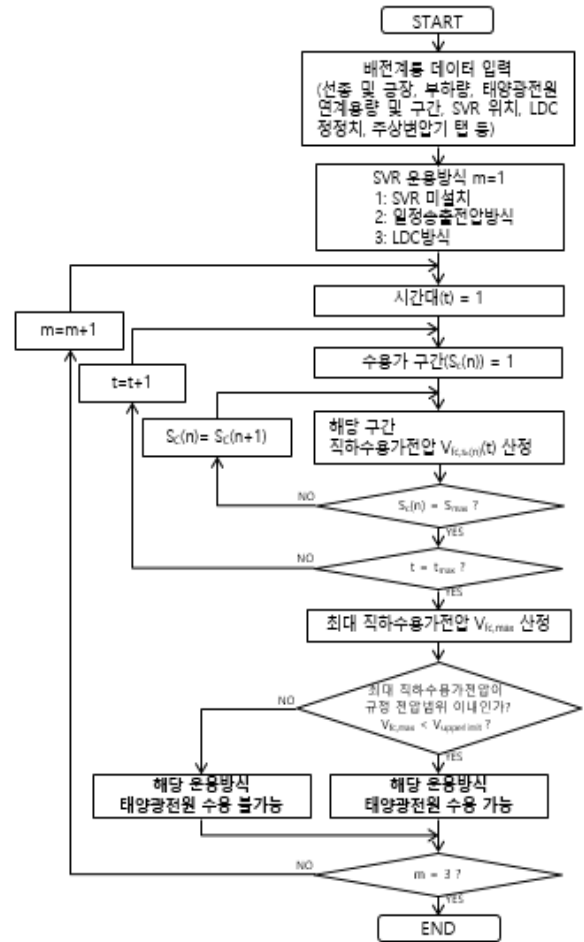
[Step 3] 시뮬레이션 시간대(t) 및 수용가구간(s_c(n))을 초기값으로 설정한다.

[Step 4] 전체 시간대(t_max)에 대하여, 모든 구간의 직하수용가전압(V_{fc,s_c(n)}(t))을 계산하고, 최대 직하수용가전압(V_{fc,max})을 산정한다.

[Step 5] [Step 5]에서 산정한 최대 직하수용가전압(V_{fc,max})이 규정전압 범위의 상한치(V_{upperlimit})를 벗어나는지 판단하여, 해당 배전계통 운용방식에 따른 태양광전원의 수용성을 평가한다.

[Step 6] 배전계통 운용방식을 다음 방식으로 설정하여 [Step 3]으로 돌아간다. 또한, 상기의 절차를 반복하여, SVR의 일정송출전압방식 및 LDC방식에 의한 태양광전원의 수용성을 평가한다.

따라서, 상기의 절차를 플로우차트로 나타내면 그림 2과 같다.

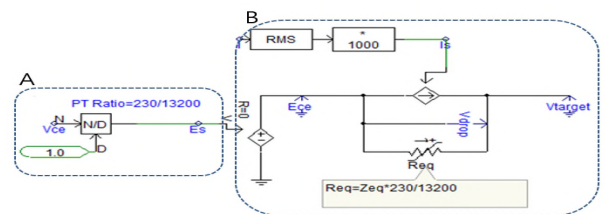


[그림 2] LDC방식에 의한 태양광전원의 수용성 향상 평가알고리즘

4. PSCAD/EMTDC에 의한 배전계통 모델링

4.1 LDC방식의 SVR 모델링

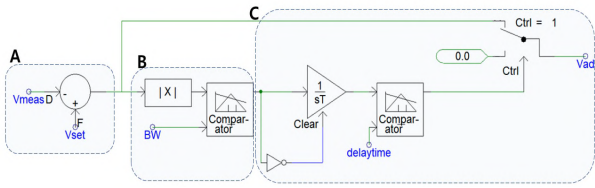
LDC방식을 PSCAD/EMTDC로 모델링하면 그림 3과 같다. 여기서, A부분은 산정된 부하중심점전압(V_{ce})을 입력할 수 있고, B부분은 산정된 등가임피던스(Z_{eq})와 실시간으로 측정된 부하전류에 의하여 송출전압(V_{send})을 결정한다.



[그림 3] LDC방식의 모델링

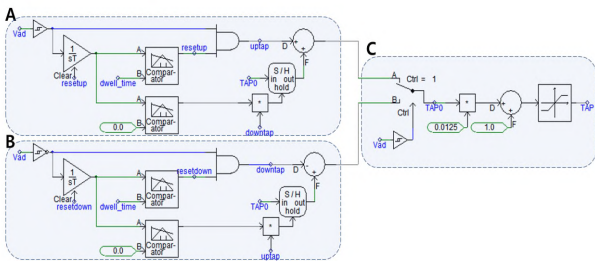
또한, LDC방식의 SVR 제어부를 모델링하면 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, A부분은 목표로 하는 전압(V_{set})과 SVR의 2차측 전압(V_{means})의 오차를 구하는 것이고, B부분은 오차에 대한 불감대폭(BW)의 범위를 벗어난 값인지

판정하는 것이다. C부분에서는 오차가 시지연동안 지속되면 다음 단계로 수행하고, 지속되지 않으면 초기치로 정정한다.



[그림 4] SVR의 제어부 모델링

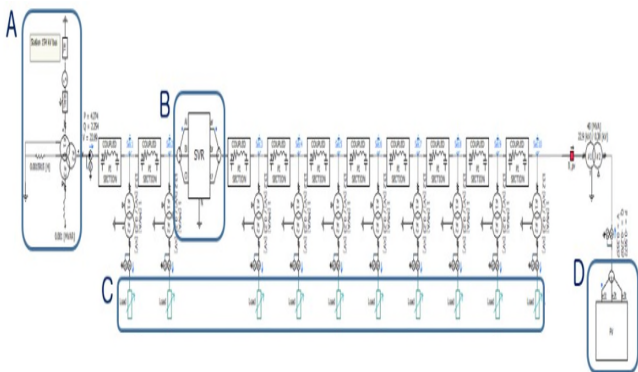
상기에서 구한 오차를 통해, SVR의 탭 동작제어부를 모델링하면 그림 5와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, A부분은 오차가 양의 값으로 탭 업 동작을 수행하는 것이고, B부분은 오차가 음의 값으로 탭 다운 동작을 수행하는 것이다. 또한, C부분은 최종적으로 SVR의 탭 위치를 선택하는 것이다.



[그림 5] SVR의 탭 동작 제어 모델링

4.2 전체 배전계통 모델링

SVR 및 ESS, 태양광전원 등으로 구성된 전체 배전계통을 모델링하면 그림 6과 같다. 여기서 A 부분은 배전용 변전소, B부분은 SVR, C부분은 수용가 부하, D부분은 태양광전원을 나타낸 것이다.



[그림 6] 전체 배전계통 모델링

5. 시뮬레이션 결과 및 분석

5.1 시뮬레이션 조건

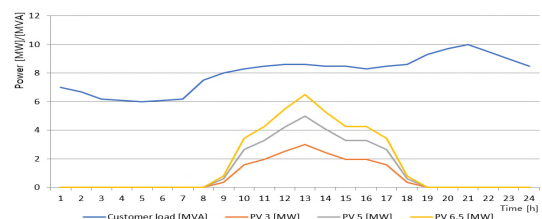
본 논문에서는 태양광전원의 연계용량, SVR의 설치 유·무 및 운용방식 등의 다양한 운용시나리오에 기반하여, 태양광

전원의 수용성을 비교·분석하기 위해 표 1과 같은 시뮬레이션 조건을 상정한다. 여기서, 배전선로는 총 10개 구간으로 구성하고, 1번~7번 구간의 선종은 ACSR-160[mm²], 8번~10번 구간의 선종은 ACSR-95[mm²]로 상정한다. 또한, 각 수용가의 부하용량은 중부하 시 1[MVA], 경부하 시 0.6[MVA]로 상정하며, 역률은 0.9를 적용한다. 또한, 저압측의 전압강하 부담률은 주상변압기 전압강하분(2%)과 저압 배전선로 전압강하분(4%), 인입선 전압강하분(2%)으로 상정한다.

[표 1] 시뮬레이션 조건

구간	선로임피던스 [Ω/km]		선로 길이 [km]	부하용량 [MVA]		역률	주상변압기 1차측 탭전압 [V]	
	R	X		중부하	경부하		SVR 미설치	SVR 설치
1	0.18	0.39	3	1	0.6	0.9	13200	13200
2	0.18	0.39	3	1	0.6	0.9	13200	13200
3	0.18	0.39	3	1	0.6	0.9	12600	13200
4	0.18	0.39	2	1	0.6	0.9	12600	13200
5	0.18	0.39	2	1	0.6	0.9	12600	13200
6	0.18	0.39	2	1	0.6	0.9	12600	13200
7	0.18	0.39	2	1	0.6	0.9	12600	12600
8	0.4	0.48	6	1	0.6	0.9	12000	12600
9	0.4	0.48	3	1	0.6	0.9	12000	12600
10	0.4	0.48	3	1	0.6	0.9	12000	12600

태양광전원의 연계용량은 3[MW], 5[MW], 6.5[MW]로 상정하며, 여기서 6.5[MW] 이상은 LDC방식의 역조류 현상에 의하여 최대치를 고려한 것이다. 또한, 태양광전원의 연계구간은 수용가의 과전압현상이 가장 빈번하게 발생할 수 있는 선로 말단지점으로 상정한다. 한편, SVR의 설치 위치는 중부하 시 전압강하를 고려하여, 3번 구간으로 상정한다. 여기서, 일정송출전압방식은 SVR의 2차측 전압을 13,200[V]로 고정시켜 송출하고, LDC방식은 그림 7과 같은 일 부하 데이터와 태양광 발전량을 적용하여 LDC정정치($V_{cc}, Z_{c,q}$)를 산정한다.

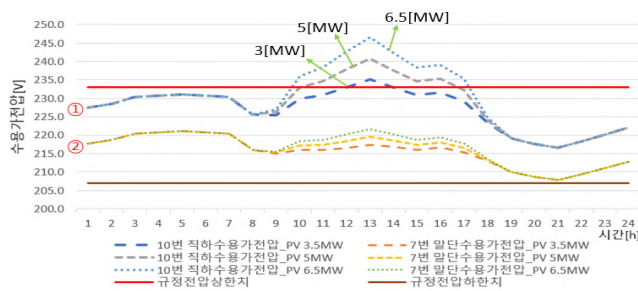


[그림 7] 일 부하 및 태양광 발전량

5.2 SVR의 운용방식에 의한 수용성 특성분석

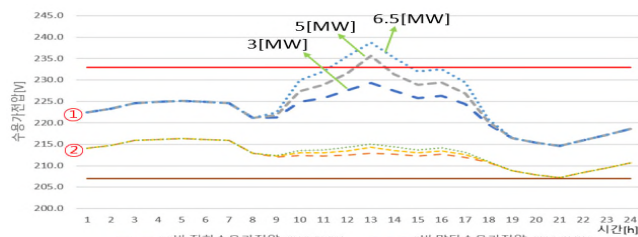
여기서는 SVR이 설치되지 않은 경우와 SVR이 설치되는 경우로 나누고, 후자는 일정송출전압방식과 LDC방식으로 분류하여, 태양광전원의 연계용량에 따른 수용가전압의 특성 및 수용성을 분석한다.

먼저, 고압배전선로에 SVR이 설치되지 않은 경우, 전체 구간 중 전압이 가장 높은 10번 구간의 직하수용가전압과 전체 구간 중 전압이 가장 낮은 7번 구간 말단수용가전압에 대하여, 태양광전원의 연계용량별 특성을 나타내면 그림 8과 같다. 여기서, 그림 8의 ①은 10번 구간 직하수용가전압 특성을 나타낸 것이며, 그림 8의 ②는 7번 구간 말단수용가전압의 특성을 나타낸 것이다. 이 그림에서와 같이, 3[MW] 이상의 태양광전원이 연계될 경우, 고압배전선로 말단의 수용가전압이 과전압현상에 의해 규정전압 범위를 벗어나게 되어 배전계통의 수용성이 저하됨을 확인하였다. 또한, 태양광전원의 연계용량이 증가될수록, 이로 인한 역조류가 증가하여 수용가전압이 규정전압을 벗어나는 폭이 증가됨을 알 수 있었다.



[그림 8] SVR 미설치 시 수용가전압 특성

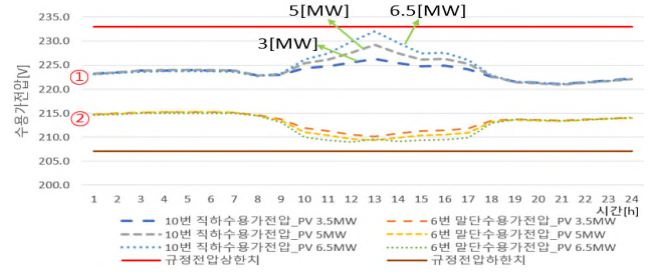
또한, 고압배전선로에 SVR이 설치되어 일정송출전압방식으로 운용되는 경우, 태양광전원의 연계용량별 10번 구간의 직하 수용가전압 및 6번 구간의 말단 수용가전압 특성을 나타내면 그림 9와 같다. 여기서, 그림 9의 ①은 10번 구간 직하 수용가전압 특성을 나타낸 것이며, 그림 9의 ②는 6번 구간 말단수용가전압의 특성을 나타낸 것이다. 이 그림에서와 같이, 태양광전원의 연계용량이 3[MW]인 경우에는 수용가전압이 규정전압 범위 이내로 유지되어 배전계통의 수용성이 향상됨을 확인하였다. 그러나, 태양광전원의 연계용량이 5[MW] 이상으로 증가하는 경우, 수용가전압이 과전압현상에 의해 규정전압 범위를 벗어나게 되어 배전계통의 수용성이 저하됨을 알 수 있었다.



[그림 9] 일정송출전압방식의 SVR 운용 시 수용가전압 특성

한편, 본 논문에서 제안한 LDC방식으로 운용되는 경우, 수

용가전압의 특성을 나타내면 그림 10과 같다. 이 그림에서와 같이, 6.5[MW] 이하의 태양광전원이 연계되어도, 수용가전압이 규정전압 범위 이내로 유지되어 배전계통의 수용성이 향상됨을 확인하였다.



[그림 10] LDC방식 SVR 운용 시 수용가전압 특성

6. 결 론

본 논문에서는 대용량의 태양광전원이 배전계통에 연계될 경우, 태양광전원의 수용성을 향상시키기 위하여, SVR의 LDC방식에 의한 태양광전원의 수용성 향상 평가알고리즘을 제안하였다. 이에 대한 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 배전계통에 SVR을 설치하여 일정송출전압방식 또는 LDC방식으로 운용하는 경우, SVR을 설치하지 않은 경우보다 수용가전압을 안정적으로 유지할 수 있어 태양광전원의 수용성이 향상됨을 확인하였다.

(2) 제안한 알고리즘에 의하여, SVR의 운용방식에 따른 태양광전원의 수용성을 비교·분석한 결과, LDC방식으로 운용하면 SVR의 송출전압을 조정할 수 있어, 태양광전원의 수용성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] 김병기, “선로전압조정장치와 전기저장장치를 이용한 배전계통의 전압조정방안에 관한 연구”, 한국기술교육대학교 대학원, 학위논문(박사), 8월, 2015년.
- [2] 이현옥, “스마트그리드 환경에서 선로전압조정장치의 설치위치선정 및 전압제어에 관한 연구”, 숭실대학교 대학원, 학위논문(박사), 6월, 2014년.
- [3] 노대석 외 5인, “고압배전선로용 선로전압조정장치(SVR)의 최적 도입 방안에 관한 연구”, 전기학회논문지, 제 53A권 제11호, pp. 581-587, 11월, 2004년.
- [4] 남양현, “전기저장장치에 의한 태양광전원이 연계된 배전계통의 수용성 향상에 관한 연구”, 한국기술교육대학교 대학원, 학위논문(석사), 8월, 2018년.