

# 태양광전원이 연계된 배전계통의 최적전압운용 알고리즘 개발

손준호\*, 노대석\*  
\*한국기술교육대학교  
e-mail: dsrho@kut.ac.kr

## A Study on Optimal Voltage Algorithm for Distribution System Interconnected with Photovoltaic System

Joon-Ho Son\*, Daeseok Rho\*  
\*Korea University of Technology and Education

### 요 약

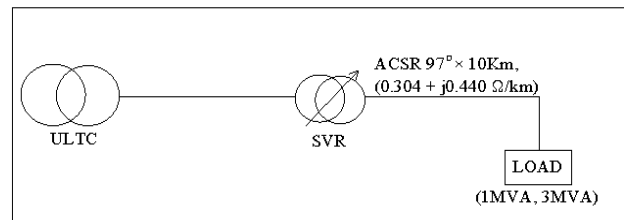
국가차원의 신·재생에너지 활성화 방안에 따라 태양광, 풍력발전 등의 대규모 분산전원 단지의 도입이 이루어지고 있으며, 현재 배전계통의 전압조정 방법은 배전용 변전소의 부하시 탭 절환기(Under Load Tap Changer, 이하 ULTC)와 배전선로의 선로전압조정장치(Step Voltage Regulator, 이하 SVR)로 수용가에 규정전압(220±6%)을 만족시키는 전압을 공급한다. 하지만 대규모의 태양광, 풍력 등의 분산전원이 배전계통에 도입되는 경우, 전력품질[과전압/저전압]의 문제가 발생된다. 본 논문에서는 부하율에 따라 변화된 LDC 정정치를 적용 및 시뮬레이션을 통한 수용가 직하 및 말단의 규정전압(220±6%) 즉 207V이하의 저전압, 233V이상의 과전압 여부를 검증함으로써 전력품질을 유지 할 수 있는 태양광전원이 연계된 배전계통의 최적전압운용 알고리즘을 개발하였다.

### 1. 서 론

정부의 녹색(Green Growth)성장정책으로 2030년 까지 신재생에너지의 비중이 전체 에너지원의 11% 정도로 확대될 계획이다.('06년 2.2%) 분산전원의 기술적인 평가방안/해석 방법이 구체적이지 않다. 분산전원 설치자(지자체, 발전사업자 등)와 운용자(한전의 배전지사/지점, 발전사업자)들이 많은 혼돈과 어려움을 겪고 있는 있다. 분산전원이 연계된 장거리 배전선로에 설치된 선로전압조정장치(SVR)가 분산전원의 역 조류에 의하여 오동작 발생하며 배전계통의 전압을 조정하는 현행의 선로전압조정장치(SVR)와 ULTC 등과 같은 능동적인 전압제어 장치를 효과적으로 이용하여, 분산전원의 연계용량을 확대하는 방안을 마련하여 정부의 녹색성장에 대한 인프라를 구축할 필요가 있다

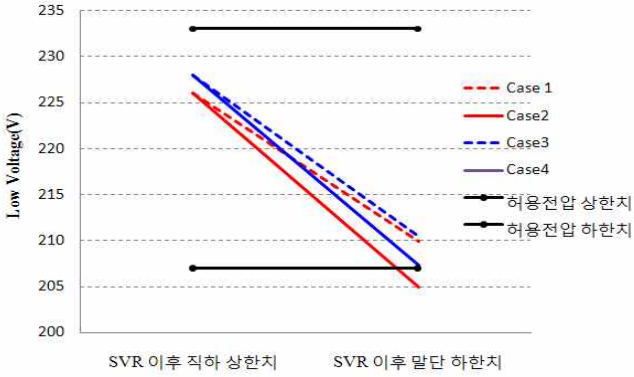
### 2. 기존의 SVR 문제점

#### 2.1 SVR의 일정송출방식의 문제점



[그림 1] SVR의 운전방식에 관한 배전계통

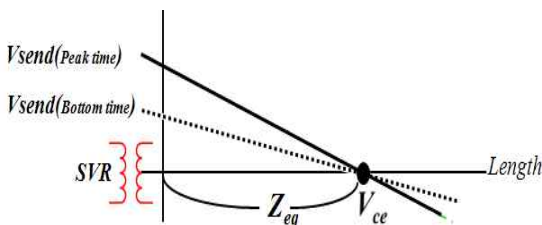
그림 1은 SVR의 운전방식에 관한 배전계통이다. SVR의 전압 송출방식은 전압 일정송출방식과 LDC 방식의 2가지로 나눌 수 있다. 분산전원이 30% 정도 연계된 배전선로의 수용가전압을 시뮬레이션 한 결과를 분석하면 그림 2와 같은데, 현재 사용되고 있는 일정전압 송출방식은 부하의 변동에 따라 수용가의 전압이 규정전압(220±13V)의 하한치를 벗어날 염려가 있지만, 부하전류의 변동에 따라 송출전압을 변동(여기서는 송출전압을 1%(=12,600×1.01)이 내에서 조정함)시키는 LDC 운전 방식은 부하변동의 크기에 따라 송출전압의 크기를 조정하여 고압선로의 전압변동을 보상하여 수용가 전압을 규정전압 이내로 유지시킬 수 있음을 알 수 있다.



[그림 2] SVR의 운전방식에 의한 수용가 전압 비교  
(적색 : 일정송출방식, 청색 : LDC 방식, 실선 : 3MW 분산전원, 점선 : 1MW 분산전원)

여기서는 대상 분산전원의 연계용량을 피크치(10MW)의 30% 정도(3MW)만을 가정하였지만, 용량이 증가하면(50% 정도까지 가능) 현행의 일정 송출전압방식에 의한 수용가의 규정전압의 유지는 더욱 어렵게 됨을 알 수 있다. 또한 SVR이 설치된 선로에 분산전원이 도입되어 운용되는 경우에는 부하변동이 증가하게 되는 현상이 발생하여, 규정전압의 유지가 어렵게 되어, 상기의 현상이 더욱 악화됨을 예상할 수 있다. 따라서 현행의 일정 송출전압방식을 개선하여 LDC 운전방식을 채용해야 하며, 이를 위하여 필수적인 LDC 운전의 최적 운용 방안을 확립해야 한다. 현재 SVR의 동작시험 기준 및 보수유지 기준안이 전무한 실정이다. 또 LDC의 설정치(등가임피던스, 부하중심점전압, Time Delay, Band Width 등)를 결정하는 방법과 관리기준이 없으며, 현재 운전 중인 대부분의 SVR은 LDC 운전을 하지 않고 off 상태로 있는 실정이며 향후 대규모의 분산전원의 도입을 고려해 현행 일정 송출전압방식을 개선하여 LDC 운전방식을 채용해야 한다. 이를 위하여 필수적인 LDC 운전의 최적 운용 방안을 확립해야 하며 즉 LDC 운전의 주요요소인 등가임피던스와 부하중심점 전압을 산출하는 편리한 S/W가 필요하다.

2.2 SVR의 LDC 송출 방식

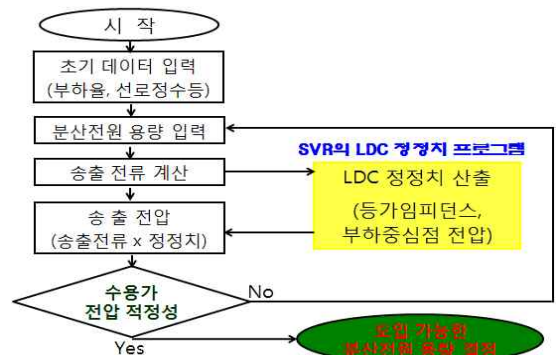


[그림 3] LDC 전압조정법의 개념

$$V_{send}(t) = V_{ce} + Z_{eq} \times I_{Bank}(t) \quad (1)$$

여기서  $V_{send}(t)$  : 송출전압,  $I_{bank}(t)$  : 측정된 बैं크 전류,  $V_{ce}$ 와  $Z_{eq}$  : LDC 정정치(부하 중심점 전압, 등가 임피던스)

LDC 송출방식은 그림 3과 같이 SVR로 통과하는 전류의 크기(중부하 및 경부하시 부하량)에 따라 선로전압강하를 보상하는 방법으로 식(1)에 의해 표현된다. 전압강하를 보상하는 SVR 탭 변환에 있어서 송출전압( $V_{send}$ )의 계산은 LDC 정정치 설정에서 가장 중요한 요소이다. SVR에서 피크 시 즉 중부하일 때 보낼 수 있는 전압과 오프피크 시 즉 경부하일 때 보낼 수 있는 전압을 일정하게 수용가에 보낼 수 있게, 임의 지점의 부하 중심점 전압 ( $V_{ce}$ ) 및 고압배전선로의 등가 임피던스( $Z_{zq}$ )를 설정해 주면, SVR로 통과하는 총 전류에 의해 SVR에서 보낼 수 있는 송출전압( $V_{send}$ )을 계산하여 SVR 탭 변환을 이용, 고압배전선의 임의 지점의 전압을 일정하게 유지시킬 수 있다. 본 논문은 등가임피던스와 부하중심점 전압을 산출하는 소프트웨어를 개발하였으며, 그림 4은 개발된 S/W의 전체 흐름도를 나타낸 것이다.



[그림 4] 개발된 소프트웨어 흐름도

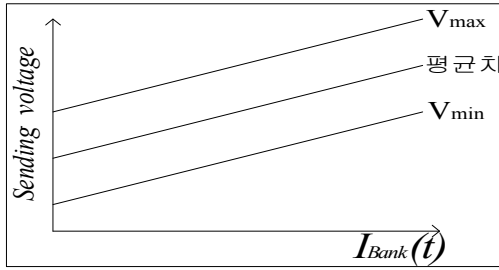
SVR의 LDC 정정치 프로그램을 개발하면 기존에 개발된 분산전원이 연계된 배전계통 수용가전압 평가 시뮬레이터와 연계하여 도입 가능한 분산전원 용량을 결정 할 수 있다. SVR의 LDC 정정치 프로그램은 시간에 대한 부하율과 선로정수를 알고 있을 때를 가정하여 개발하였다.

2.3 LDC의  $V_{ce}$ ,  $Z_{eq}$  계산 알고리즘

LDC의  $V_{ce}$ ,  $Z_{eq}$  계산 알고리즘은 아래의 5단계에 의해서 송출전압 평균치를 얻을 수 있고 그림 5과 같이 선형방정식으로 표현되며 직선의 기울기와 Y

절편을 구함으로써 LDC 정정치( $Z_{zq}$ ,  $V_{ce}$ )를 구할 수 있다.

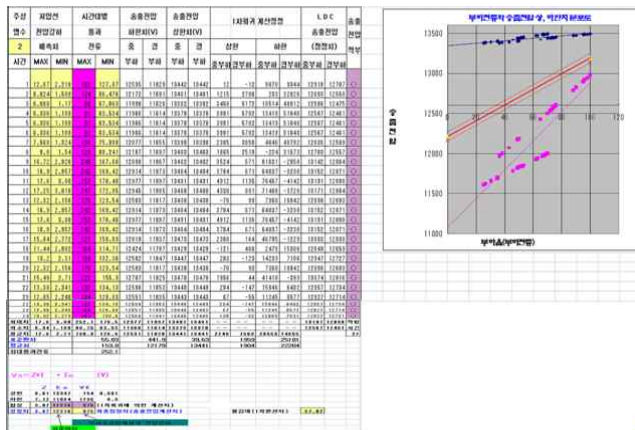
- ① 송출전압 상한치 및 선형회귀법에 의한 직선
- ② 송출전압 하한치 및 선형회귀법에 의한 직선
- ③ 송출전압 상한치의 LDC 정정치  $V_{ce(upper)}$ ,  $Z_{eq(upper)}$
- ④ 송출전압 하한치의 LDC 정정치  $V_{ce(lower)}$ ,  $Z_{eq(lower)}$
- ⑤ 1차 회귀 계산치



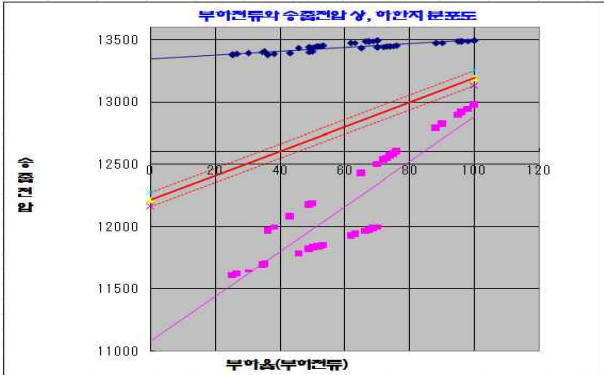
[그림 5] 송출전압과 뱅크전류의 관계 그래프

2.4 SVR의 LDC 정정치 산출 프로그램 소개

그림 6은 송출전류를 이용한 SVR의 LDC 정정치 산출 프로그램이다. 24시간을 기준으로 하였으며, 저압선 전압강하 예측치, 시간대별 통과전류, 경·중부하일 때 송출전압의 상·하한치를 알고리즘에 의해 계산될 수 있도록 하였으며, 이 값들을 이용하여 1차회귀 계산정정 후 LDC 송출전압을 결정할 수 있다. 저압선 전압강하 예측치와 시간대별 통과 MIN 전류를 바탕으로 분산전원 투입시 시간대별 변화하게 되는 최대부하전류를 계산과정을 통해 얻는 후, 시간대별 통과 MAX전류를 입력하면 LDC 정정치를 쉽게 얻을 수 있다.



[그림 6] SVR의 LDC 정정치 산출 프로그램



[그림 7] 프로그램의 LDC 정정치 계산 화면의 부하전류와 송출전압 상·하한치 분포도

그림 7은 부하전류에 따른 송출전압 상·하한치 분포도이다. 청색은 경·중부하일 때 송출전압의 상한치를 점으로 나타냈으며, 이 값을 이용하여 1차 회귀직선을 얻을 수 있다. 분홍색은 경·중부하일 때 송출전압 하한치를 점으로 나타냈으며, 이 값을 이용하여 1차 회귀직선을 표현했다. 적색직선은 LDC 정정치 선으로 송출전압의 상·하한치에 대한 1차 회귀직선의 Y절편과 기울기의 평균값으로 해를 구할 수 있다. 즉, 적색직선의 Y절편이 LDC 정정치의 부하중심점 전압이 되며, 기울기가 LDC 정정치의 등가임피던스가 된다.

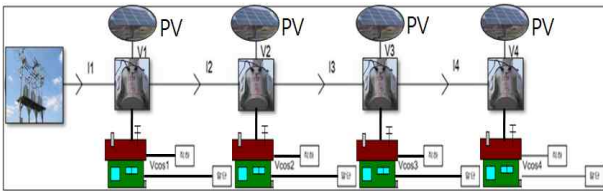
2.5 SVR의 LDC 정정치 산출 프로그램을 이용한 LDC 정정치가 적용된 배전계통 시뮬레이션 결과 및 분석



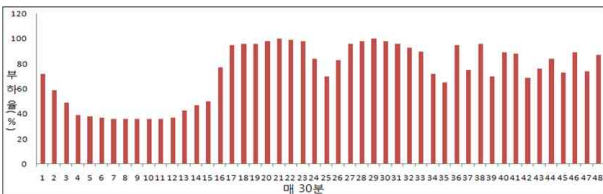
[그림 8] 분산전원이 연계된 배전계통의 전압조정 시뮬레이션

부하율에 따른 변화된 LDC 정정치를 적용 및 시뮬레이션을 통한 수용가 직하 및 말단의 규정전압 (220±6%) 즉 207V이하의 저전압, 233V이상의 과전압 여부를 검증하기 위해 이미 개발된 분산전원이 연계된 배전계통 전압조정 시뮬레이션을 소개하고자 한다. 그림 8과 같이 이 프로그램은 VBA (Visual Basic Application)를 이용하여 19개 시트와 5개의 모듈 및 23개의 서브 모듈로 개발되었다. 분산전원

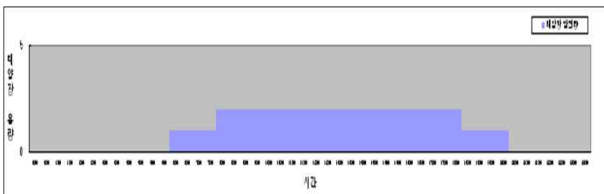
이 연계된 배전계통의 전압조정 시뮬레이션을 통한 평가시스템 결과 및 분석 개발된 평가 시스템을 이용하여 이상적인 LDC 정정치(등가임피던스:1.3[Ω], 부하중심점 압:21,500[V])를 얻을 수 있었다. 이 값을 이용하여 분산전원이 연계된 배전계통의 전압조정 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션 조건은 그림9의 모델계통에 그림10의 일부하 곡선과 그림11의 분산전원이 투입된 상황을 설정하여 시뮬레이션 하였다.



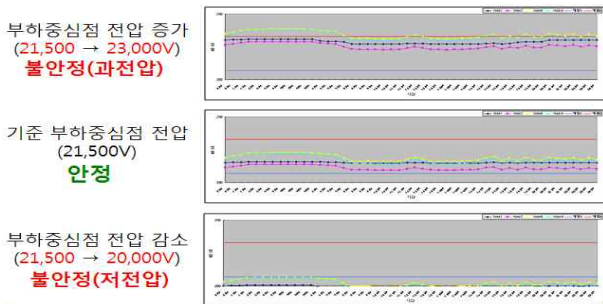
[그림 9] 분산전원(PV)이 연계된 배전계통의 전압조정 시뮬레이션의 모델계통



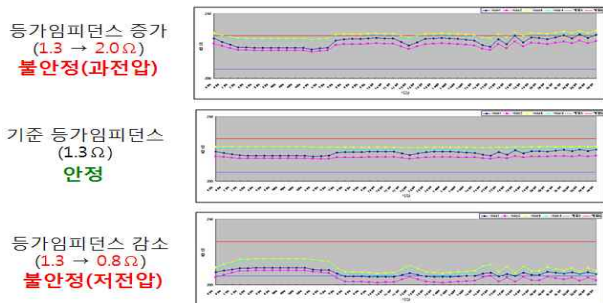
[그림 10] 일부하 곡선



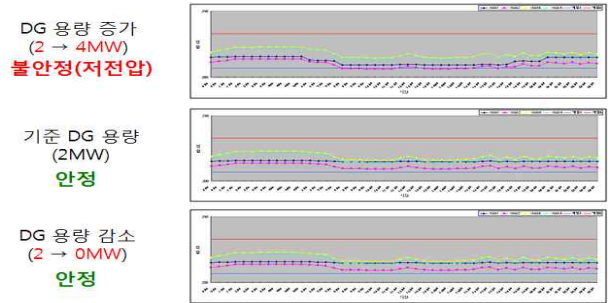
[그림 11] 분산전원(PV)의 출력



[그림 12] 부하중심점 전압에 따른 수용가 전압 특성



[그림 13] 등가임피던스에 따른 수용가 전압 특성



[그림 14] 분산전원(DG) 용량에 따른 수용가 전압 특성

그림 12, 13은 부하중심점 전압에 따른 수용가 전압 특성과 등가임피던스 변동에 따른 수용가 전압의 시뮬레이션 그래프이다. LDC 정정치 요소인 부하중심점 전압과 등가임피던스에 따른 수용가 규정전압 적합성 여부를 검증 할 수 있으며 즉 부하중심점 전압과 등가임피던스가 기준 값을 초과 시(23,000[V], 2.0[Ω]), 또는 미만 시(20,000[V], 0.8[Ω]) 수용가 직하 및 말단에 과전압과 저전압현상이 발생됨을 알 수 있다. 그림 14는 분산전원(DG)용량에 따른 수용가 전압 특성 그래프로 분산전원 용량에 따른 수용가 직하 및 말단에 미치는 영향을 확인 할 수 있다.

### 3. 결 론

환경문제로 인한 분산전원의 도입증가로 기존 배전계통의 전압품질은 이전보다도 떨어지고 있는 실정이다. 분산전원의 도입증가와 전압품질을 고려할 수 있는 배전계통의 SVR의 도입증대 및 LDC 운전방법을 제안하며, 전압조정장치 운용 S/W의 개발 및 적용 해야 하며, (신에너지)전원의 배전계통의 수용가 전압에 미치는 영향을 정확하게 분석하여 계통연계에 대한 전력품질을 유지 내지는 향상시키면서 소규모의 전원을 기존의 배전계통에 보급해 나아갈 수 있는 기술의 개발은 21세기 정보화 사회의 국민에게 고품질의 전력을 보장한다는 차원에서 상당히 중요하다고 할 수 있다. 배전계통의 선로전압조정장치(배전용변전소 주변압기의 ULTC 포함)의 운용에 대한 표준화 및 제반규정의 확립으로 보수운용시의 비용 절감과 국제적인 경쟁력을 강화시킬 수 있으며, 적용선로와 부하특성, 전압보상장치의 종류에 따른 전압조정장치의 운영기준 제시 선로구성 및 부하특성에 적절한 최적 운용방안 제시 전압품질 향상 및 전압관리 정책에 반영할 수 있는 결과 도출을 위해 현행의 일정 송출전압방식을 개선한, LDC 운전방식을 채용해야 하며, 이를 위하여 필수적인 LDC 운전의 최적 운용방안이 필요하다.

### 참고문헌

- [1] 노 대석 외 3인, “신에너지전원이 연계된 배전계통의 전압조정장치 시뮬레이션에 의한 수용가전압 평가”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2009.7
- [1] 노 대석 외 2인, “배전계통에서 분산전원을 증가시키는 새로운 전압조정방법에 관한”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2009.7