

# ULTC와 선로전압조정장치를 이용한 태양광전원이 연계된 배전계통의 전압조정 전략

이현옥

한국폴리텍대학 광주캠퍼스

e-mail: lho0504@kopo.ac.kr

## Strategy of Voltage Control in Distribution System with Photovoltaic System Using the Under Load Tap Changer and Step Voltage Regulator

Hyun-Ok Lee

\*Korea Polytechnics

### 요 약

대용량의 태양광발전, 풍력발전과 같은 분산전원이 배전선로 말단에 연계되어 운용되는 경우, 전압이 빈번하게 규정 전압을 벗어나는 문제점을 해결하기 위하여, 선로전압조정장치(SVR : Step Voltage Regulator)의 도입이 증가되고 있는 추세이다. 또한 배전용변전소 ULTC의 전압제어는 배전용변전소 측뿐만 아니라 SVR 제어영역의 수용가 전압에도 영향을 준다. 따라서 본 논문에서는 가능한 많은 수용가에게 적절한 전압을 공급하기 위해 배전용변전소 ULTC의 전압 제어량을 고려하여 SVR의 전압 제어량을 결정하는 ULTC와 SVR의 전압 협조제어 방안을 제시한다. 이 방안을 바탕으로, 배전용변전소 ULTC에 의해 제어된 주변압기(MTR) 2차측 전압과 계통에 연계된 분산전원을 고려한 SVR의 새로운 전압제어방법을 적용하여 그 효과를 비교하였다.

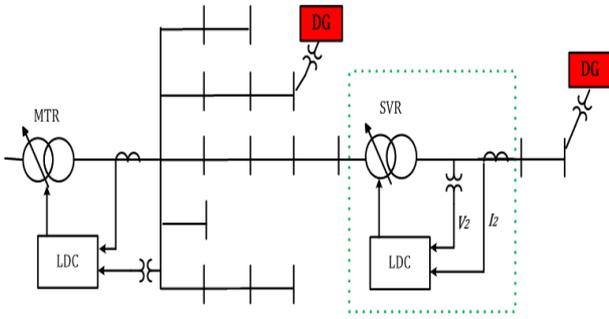
### 1. 서론

최근 국제적으로 탄소중립화에 따라 세계적 분산전원을 확대하는 추세를 보이고 있다. 그리고 대규모 분산전원이 도입됨에 따라 전압의 불안정성이 대두되고 있는 상황에서, 전압을 안정적으로 유지하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있는 상황이다. 또한 대용량의 태양광발전, 풍력발전과 같은 분산전원이 배전선로 말단에 연계되어 운용되는 경우, 전압이 빈번하게 규정전압을 벗어나는 문제점을 해결하기 위하여, 선로전압조정장치(SVR : Step Voltage Regulator)의 도입이 증가되고 있는 추세이다. 그러나 배전용변전소 ULTC와 고압 배전선로의 SVR이 서로 독립적으로 운용되고 있기 때문에, SVR이 운영하는 경우에 빈번한 탭 조정이 발생할 가능성이 있다. 따라서 본 논문에서는 분산전원이 배전선로 말단에 연계되어 운전될 경우 배전계통의 전압을 안정적으로 유지하기 위하여, ULTC와 선로전압조정장치(SVR)간의 협조하여 전압을 제어하는 방안을 제안한다. 구체적으로 배전용변전소 ULTC의 전압제어는 배전용변전소 측뿐만 아니라 SVR 제어영역의 수용가 전압에도 영향을 준다. 그러므로 가능한 많은 수용가에게 적절한 전

압을 공급하기 위해서는 배전용변전소 ULTC의 전압 제어량을 고려하여 SVR의 전압 제어량을 결정하는 ULTC와 SVR의 전압 협조제어 방안을 제시한다.

### 2. 선로전압조정장치의 LDC 전압제어 방안

그림 1은 SVR의 LDC 운영방식을 나타낸 것이다. SVR의 LDC 전압제어 방법은 변압기 2차측에 흐르는 전압과 전류를 이용하여 송출전압과 최적 송출전압사이의 오차를 계산하고 오차가 전압불감대(db:dead band) 범위를 벗어나면 SVR의 탭 값을 증가 혹은 감소시킴으로써 배전계통의 적정전압을 유지하도록 전압제어를 수행하게 된다. 즉 SVR의 송출전압은 시간  $t$ 에서 보상율( $\Delta V_k$ )가 전압불감대(db) 범위를 벗어나고 시간 지연( $td$ )를 초과할 경우 SVR의 탭 위치가 바뀌게 됨으로써 제어된다.

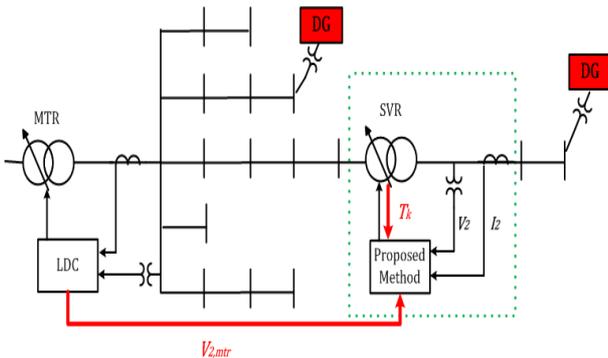


[그림 1] SVR의 LDC 운영 방식

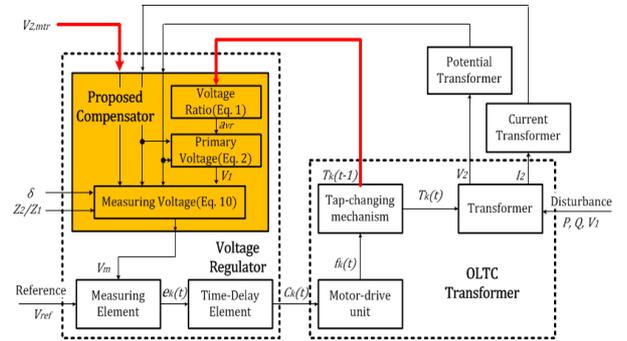
하지만 배전계통에 연계된 수용가의 전압은 배전용변전소 ULTC에 의해서 1차적으로 제어된 후, 배전선로에 도입된 SVR에 의해서 전압이 조정된다. 따라서, 배전용변전소 ULTC의 전압제어는 배전용변전소 측면만 아니라 SVR 제어영역에 포함된 수용가 전압에도 영향을 주기 때문에 배전용변전소 ULTC의 전압 제어특성을 고려하여 SVR을 조정한다면, 가능한 많은 수용가에 대하여 전압을 안정적으로 유지할 수 있다.

### 3. 주변압기 2차측 전압을 고려한 ULTC와 SVR의 전압제어 전략

기존 SVR 전압제어방식의 한계점을 극복하기 위하여, 본 논문에서는 SVR의 분산전원 연계에 따른 역방향 조류와 배전용변전소 ULTC로 제어된 주변압기(MTR)의 2차측 전압을 고려하여 측정전압  $V_m$ 을 구하고, SVR의 최적보상율인  $\Delta V_p$ 를 결정하는 새로운 전압제어방법을 제안한다. 이 방안은 분산전원과 MTR 2차측 전압을 고려한 전압제어방안으로서 제안한 방식의 제어 개념도는 그림 2와 같고 제어를 수행하게되는 제어 블록 다이어그램은 그림 3과 같다.

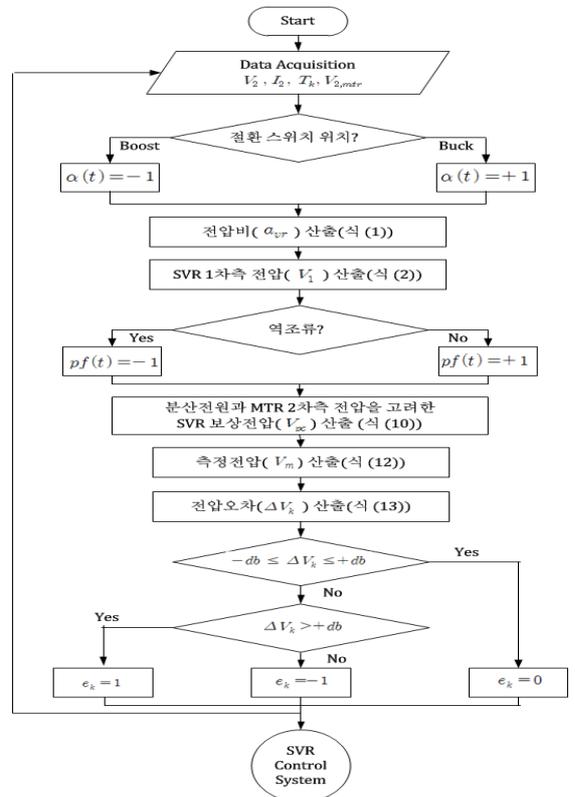


[그림 2] 주변압기 2차측 전압을 고려한 SVR 제어 개념도



[그림 3] 주변압기 2차측 전압을 고려한 SVR 제어의 블록 다이어그램

상기의 제어 블록도를 바탕으로 본 논문에서 제안한 ULTC와 SVR의 협조에 따른 전압제어 방안에 대한 운영 순서를 나타내면 그림 4와 같다. 알고리즘을 나타낸 순서도이다.



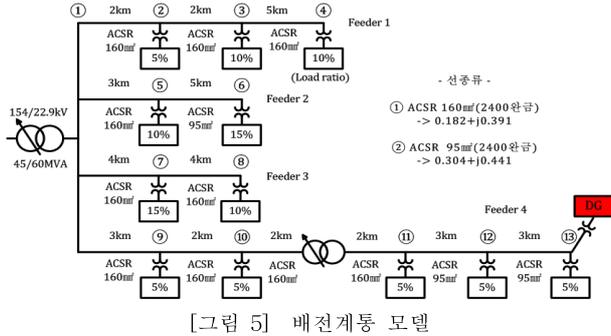
[그림 4] ULTC와 SVR의 협조에 따른 전압제어 방안

## 4. 시뮬레이션 결과 및 분석

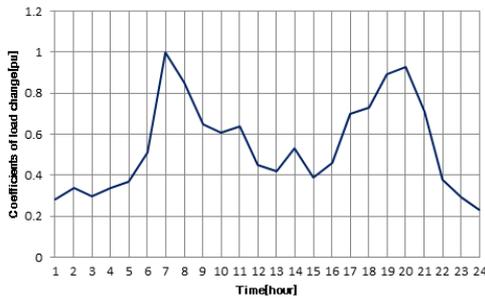
### 4.1 시뮬레이션 조건

그림 5는 배전계통의 구성도 및 파라미터를 나타낸 것이다. 구체적으로 배전용변전소의 일부하 곡선은 그림 6과 같이 적용하고 계통의 역률은 0.9를 적용한다. 저압측의 전

압강하 배분은 주상변압기와 인입선, 저압선로의 최대 전압강하를 각각 4V, 4V, 8V로 상정하고, 그리고 SVR의 설치지점은 그림 5의 10번과 11번 구간 사이로 가정하며, 태양광전원은 그림 5의 13번 구간에 3MW를 도입하였다.



[그림 5] 배전계통 모델



[그림 6] 부하 곡선

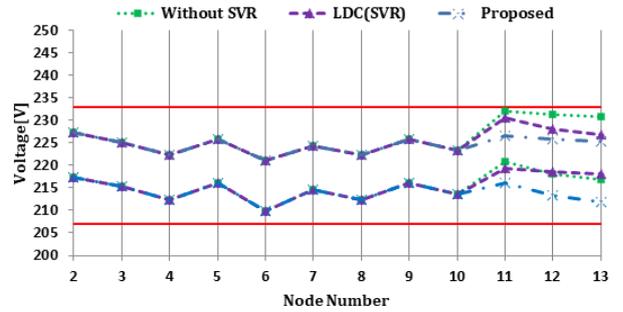
제어방식은 다음의 2가지 방식으로 운영하여 수용가전압을 분석한다.

- 방식 1 (LDC(SVR) Method) : 배전용변전소 MTR의 ULTC와 SVR의 LDC를 독립적으로 제어하는 방식
- 방식 2 (Proposed(SVR) Method) : 배전용변전소 MTR의 송출전압은 ULTC 방식으로 제어하고 SVR의 송출전압을 MTR의 2차측 전압을 반영하여 결정하는 방식

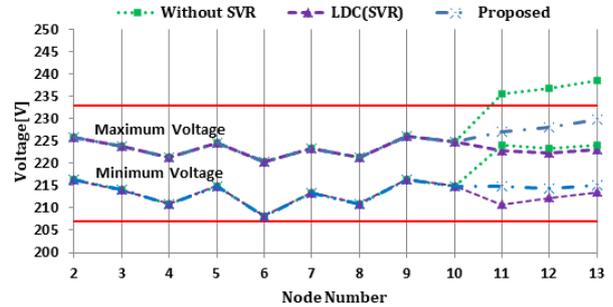
#### 4.2 ULTC와 SVR 운영에 따른 전압특성분석

분산전원이 연계된 배전계통에서 SVR의 기존 전압제어방법과 본 연구에서 제안한 전압제어방법에 대하여 각 지점의 전압분포를 나타냈다. 먼저, 분산전원이 연계되지 않은 모델계통에 대하여, 그림 7은 각 노드의 최대 수용가 전압분포와 최소 수용가 전압분포를 나타내고 있으며, 그림 8은 3MW의 분산전원이 13번 노드에 연계된 모의계통에 대한 각 노드의 최대 수용가 전압분포와 최소 수용가 전압분포를 보여준다. 분석결과 분산전원이 연계되지 않은 경우는 LDC(SVR) Method와 (Proposed(SVR) Method)의 2가지 방식의 운용패턴이 모두 규정전압범위 이내를 유지하였으며, 분산전원 3MW가 연계되는 경우 기존 LDC(SVR)

방식과 제안한 방식 모두 규정전압범위를 유지하였다. 다만 기존 방식보다 제안한 방식이 규정전압유지범위에 근사하게 안정적으로 운영됨을 알 수 있어, 기존 방식이 아닌 제안한 방식으로 전압을 제어한다면, 향후 태양광전원 용량이 증가하여도 수용가 전압을 안정적으로 유지시킬 수 있음을 알 수 있었다.



[그림 7] 태양광전원이 도입되지 않은 경우 전압특성



[그림 8] 태양광전원이 도입된 경우 전압특성

## 5. 결 론

본 논문에서는 배전계통에 태양광전원이 도입되는 경우, 안정적으로 전압을 안정적으로 제어할 수 있는 방안을 제안하였다. 기존 LDC(SVR) 방식과 제안한 방식으로 시뮬레이션을 수행한 결과, 기존 방식보다 제안한 방식이 규정전압유지범위에 근사하게 안정적으로 운영됨을 알 수 있어, 기존 방식이 아닌 제안한 방식으로 전압을 제어한다면, 향후 태양광전원 용량이 증가하여도 수용가 전압을 안정적으로 유지시킬 수 있음을 알 수 있었다.

### 참고문헌

[1] E.M. Lee, M.Y. Kim, D.S. Rho, S.W. Sohn, J.E. Kim, and C.H. Park, "A Study on the Optimal Introduction of Step Voltage Regulator(SVR) in Distribution Feeders", Trans. KIEE, Vol. 53A, No. 11, pp. 610-618, Nov. 2004.