

고압배전선로의 선로전압조정장치(SVR)의 운용에 관한 기초 연구

이은미, 노대석, 최재석, 김재언, 노규민, 박창호
 한국기술교육대학교 경상대학교 충북대학교 충청대학교 한전전력연구원

A Study on the Optimal Operation of Step Voltage Regulator(SVR) in the Distribution Feeders

Eunmi Lee, Daeseok Rho, Jaeseok Choi, Jaeon Kim, Kuymin Roh, Changho Park
 Korea University of Technology, Kyeongsang, Chungbuk, Chungchung University, KEPRI

1. 서론

최근, 배전계통의 고압 배전선로의 전압강하가 5%를 초과하는 선로에 대한 효율적인 전압관리가 미흡한 상태이며, 배전선로의 전압의 제어를 위해 설치하는 선로 전압조정장치(Step Voltage Regulator : SVR)의 잦은 고장 및 설치공간 과다점유로 전압조정장치의 설치·사용실적이 미진하고, 동 기기의 운용 및 설치기준에 정립이 시급한 실정이다. 따라서 전압강하 5% 초과지역에 대한 효율적인 전압관리 개선방안을 강구하기 위하여, 현재 배전사업소에 도입, 설치되고 있는 전압조정장치(SVR)의 운용기준 제정은 물론, 적정용량 및 최적 위치 선정에 대한 방안을 제시하는 연구가 필요하다.

2. 배전선로의 전압조정 개념

현재 고압배전선로의 전압조정장치의 조정방식으로 프로그램 방식과 LDC 방식이 주로 사용되고 있다. 프로그램 방식은 각 시간대별로 타임스위치의 지정에 의해 송출전압을 단계적으로 조정하는 것으로, 간단한 조작으로 여러 송출전압을 얻을 수 있지만, 부하변동의 폭이 큰 경우 적절한 전압강하의 보상이 어렵게 되는 결점이 있다. 반면, LDC 방식은 미리 정해진 전압조정 요소(등가 임피던스와 부하중심점 전압)에 의하여, 시간에 따라 변화하는 고압선로의 전압강하를 보상하면서 송출전압을 조정하는 것으로 유사한 부하변동 특성을 가진 고압선로들로 구성된 뱅크(Bank)에 효과가 크다는 한계성을 가지고 있지만, 프로그램 방식보다 급격한 부하변동에도 유연하게 대응할 수 있어서, 폭 넓게 사용되고 있다. LDC 방식은 정확한 전압조정 요소를 구하는 것이 중요한 문제로서, 전압조정 요소를 최적으로 구하는 방법을 이하에서와 같이 제시하고자 한다.

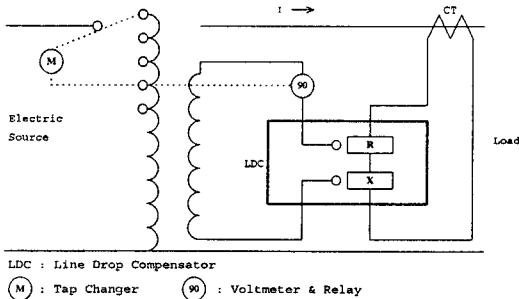


그림 1. LDC방식의 개념도

3. 선로전압조정장치의 최적 전압조정방안

LDC 방식에 의한 선로전압조정장치의 송출전압 결정 문제는 각 수용가의 전압이 합리적인 분포가 되도록 전압조정 요소를 구하는 것으로, 이 요소는 배전계통의 등가적인 전압강하 특성을 나타낸다. 즉, 먼저 시간에 따라 변화하는 이상적인 최적 송출전압(최적 전압보상율)을 결정하고, 이것과 총 부하전류와의 상관관계를 통계적인 수법을 이용하여 최적 전압조정 요소를 구한다.

3.1 최적 전압보상율

일반적으로 배전용변전소와 고압배전선로의 전압조정은 그림 2와 같이 조정되고 있다. 그러나, 각각 다른 부하특성을 가진 피더나 부하군들을 동시에 고려하여 전압조정을 한다는 것은 어려운 일이다. 따라서 가장 가혹한 조건이 되는 고압선로의 특정 지점들을 선택하여, 이 지점의 수용가 전압을 허용범위 이내로 유지시켜, 다른 피더의 수용가 전압도 적정범위 내로 유지시키는 개념을 이용하였다.

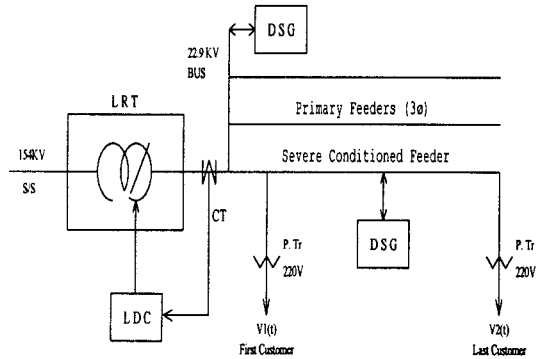


그림 2. 고압배전선로의 전압조정방안 개념도

송출전압의 결정문제는 선택되어진 가장 가혹한 조건의 피더의 특정 지점(최대와 최소전압점)을 가능한 표준전압(220V)의 근방에 유지시키도록 최적 전압보상율을 구하는 것이 된다. 이 문제는 다음 식과 같이, 등가적으로 선로전압조정장치 직하의 수용가 전압과 규정전압의 상한치(233V), 하한치(207V)와의 차의 제곱을 최소화시키는 문제로 정식화시킬 수 있다.

$$\text{Min } J(t) = \{ V1_{\text{max}}(t) - V1(t) \cdot X_{\text{mtr}} / R_{\text{mtr}} \}^2 + \{ V1(t) \cdot X_{\text{mtr}} / R_{\text{mtr}} - V1_{\text{min}}(t) \}^2 \quad \text{--- (1)}$$

Subj.to, $V_{lmax}(t) = V_{max}$ --- (2)

$V_{lmin}(t) = V_{min} \cdot V1(t) / V2(t)$ --- (3)

여기서, t : 시간대,

V1(t), V2(t) : SVR 직하 및 말단의 수용가전압,

Vlmax(t), Vlmin(t) : SVR 직하로 환산된 규정전압의 상하한치

Vmax : 규정전압의 상한치

Vmin : 규정전압의 하한치

Rmtr : SVR의 전압보상율

Xmtr : SVR의 최적 전압보상율

여기에서는 상기 문제의 간략화와 계산의 오차를 피하기 위하여, SVR 직하와 말단의 수용가전압이 고압선로의 전압강하에 의하여 비례적으로 변화한다는 사실에 주목하여, 말단의 수용가전압의 변동특성을 등가적으로 SVR 직하의 값으로 환산하였다. 즉, (2) 식과 (3) 식은 SVR 직하 지점에서 바라본 새로운 규정전압의 상하한치를 나타낸 것으로, 상한치는 전압변동에 관계없이 일정하지만, 하한치는 직하에서 말단까지의 전압강하에 의하여, 시간과 함께 변화하는 특성을 가지고 있다.

따라서, 상기 문제에 대한 최소화 조건(dJ / dXmtr = 0)에 의하여, 각 시간대의 최적 전압보상율은 다음식과 같이 구해진다.

$$Xmtr = Rmtr \cdot \{ V_{lmax}(t) - V_{lmin}(t) \}^2 / 2V1(t) \quad \text{--- (4)}$$

3.2 최적 전압 조정요소

선로전압조정장치의 이상적인 최적 송출전압과 총 부하전류와의 상관관계는 그림3과 같이 시간과 함께 변화하는 비선형적인 상관관계 특성을 가지고 있다. 그러나, LDC의 전압조정 요소는 한번 정해지면 일정기간 같은 값으로 운용되기 때문에, 최적 송출전압은 식 (5)와 같이 근사식으로 나타낼 수 있다. 따라서, 전압조정 요소의 결정문제는 이상적인 최적송출전압분포의 편차를 최소화하도록 식 (5)의 계수를 구하는 문제로 되어 최소화방법에 의해 식 (6)과 같이 정식화할 수 있다.

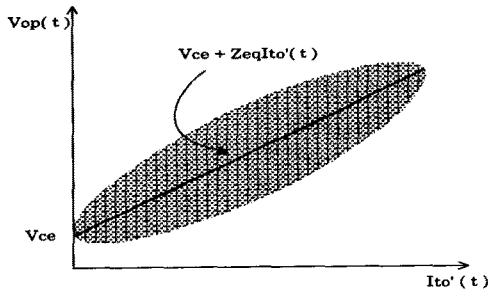


그림 3. 최적 송출전압의 분포 특성

$$Vopt(t) = Vce + Zeq \cdot Ito'(t) \quad \text{---(5)}$$

$$\text{Min } q = \sum_{t=1}^T \{ Vopt(t) - (Vce + Zeq \cdot Ito'(t)) \}^2 \quad \text{--- (6)}$$

여기서, T : 전체 시간대

Vopt(t) : Xmtr에 의한 최적 송출전압

Vce : 부하중심점의 전압

Zeq : 등가임피던스

Ito'(t) : SVR을 통과하는 총 부하전류

식 (6)을 최소화($\partial q / \partial Zeq + \partial q / \partial Vce = 0$)하여, 전체 고찰기간의 최적 전압조정요소(Zeq, Vce)를 구하면 다음식과 같다.

$$Zeq = \left\{ \sum_{t=1}^T Ito'(t) \cdot \sum_{t=1}^T Vop(t) - T \cdot \sum_{t=1}^T Ito'(t) \cdot Vop(t) \right\} / \left\{ \left(\sum_{t=1}^T Ito'(t) \right)^2 - T \cdot \sum_{t=1}^T (Ito'(t))^2 \right\} \quad \text{--- (7)}$$

$$Vce = \left\{ \sum_{t=1}^T Ito'(t) \cdot Vop(t) - Zeq \cdot \sum_{t=1}^T (Ito'(t)) \right\} \quad \text{--- (8)}$$

4. 시뮬레이션 및 결과 분석

4.1 모델계통 및 제조건

① 모델 배전계통은 그림 4와 같이 22.9kV계통을 상정하며, 고압선로의 구간데이터는 표1과 같다.

② 배전용변전소의 LRT의 일부하 패턴은 45MVA의 피크부하를 기준으로 100%~20%의 부하변동 특성을 가진다. 피크부하는 1~8시간대, 미들부하는 9~16시간대, 오프피크부하는 17~24시간대로 한다.

③ 저압측의 전압강하 배분은 주상변압기와 인입선, 저압선로의 최대 전압강하를 각각 4V, 4V, 8V로 상정한다.

④ 고압배전선로의 전압강하를 계산하기 위하여, 가우스 사이델법(Gauss-Seidel Method)을 이용한 조류계산법을 이용하였다.

⑤ SVR의 설치지점은 그림 4의 10번 지점으로 상정하였으며, 운용패턴은 고정방식(22,900V 송출)과 프로그램 방식(3단계, 피크, 미들, 경부하 시간대), 제한한 방식을 비교한다.

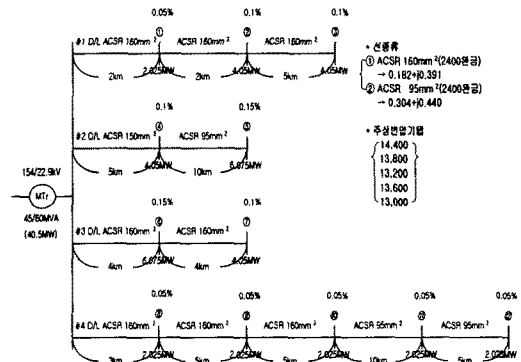


그림 4. 22.9KV 모델 배전계통

4.2 시뮬레이션 결과 및 평가

상기의 시뮬레이션 조건을 기준으로 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 5는 SVR이 도입되지 않은 경우의 각 방식의 평가지표(기준전압과 수용가전압의 편차의 합)를 나타낸 것으로, 본 연구에서 제한한 LDC 방식의 값

이 가장 우수한 특성을 보임을 알 수 있다. 한편 SVR이 도입된 경우의 수용가 전압과 평가지수는 그림 6 - 그림 9와 같으며, 여기서 본 연구에서 제안한 SVR의 최적 운용방안이 합리적임을 알 수 있다.

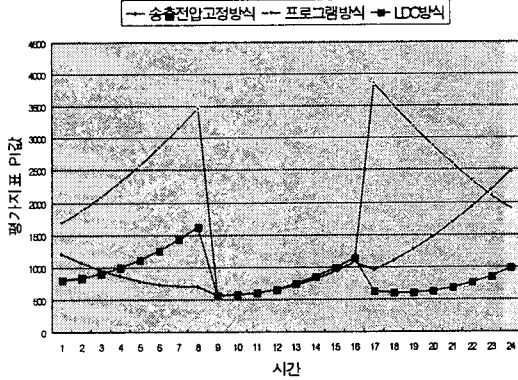


그림 5. SVR 도입전의 각 방식의 평가지표의 비교

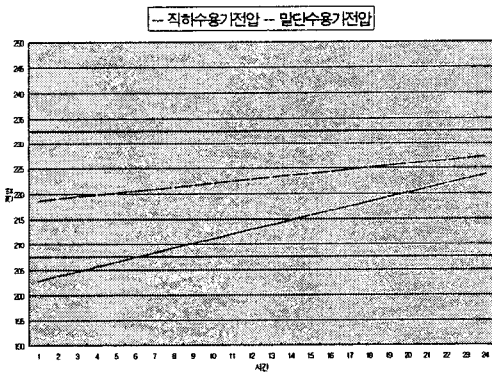


그림 6. 조정방식에 의한 수용가 전압특성

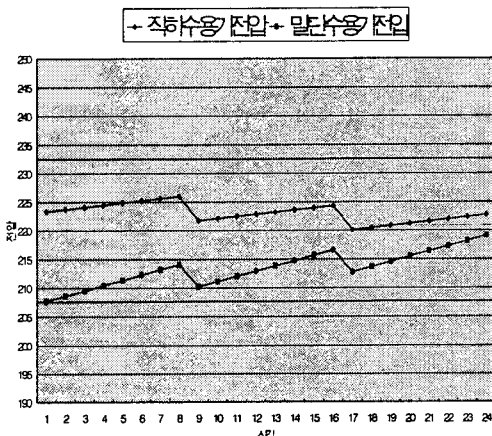


그림 7. 프로그램방식에 의한 수용가 전압특성

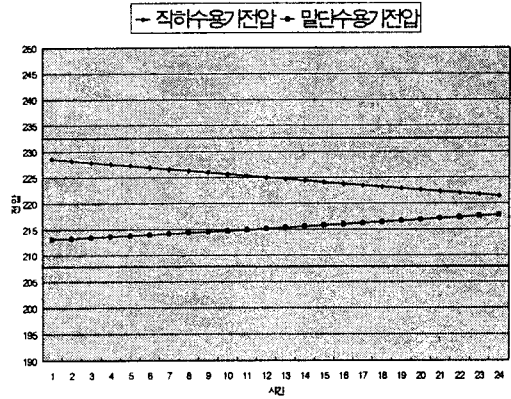


그림 8. LDC방식에 의한 수용가 전압특성

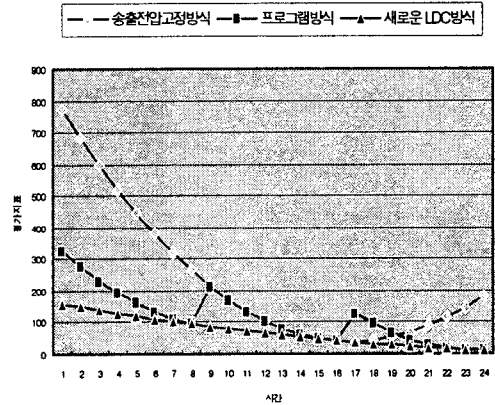


그림 9. SVR 도입후의 각 방식의 평가지표의 비교

감사의 글
본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: 2000-1-30200-006-3) 지원으로 수행된 결과의 일부임

[참 고 문 헌]

- [1] 이은미, 노대석 "배전계통의 전압관리 현황과 개선방안에 관한 연구", 2002 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, 2002. 5
- [2] 이은미, 노대석 "배전계통에 있어서 최적 송출전압에 관한 연구", 2002 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2002. 7
- [3] Daeseok Rho, Horiyuki Kita, Kenichi Nishiya and Hasegawa Jun, "Voltage Regulation Methods Based on an Extended Approach and Neural Networks for Distribution System interconnected with DSG systems", 일본전기학회 지B, 117권 3호, 1997년3월