

시간 불일치성을 고려한 배전계통 전압조정방법

김태웅\*, 김창순\*, 김재연\*, 손진만\*\*, 박종근\*\*, 노대석\*\*\*, 김광호\*\*\*\*, 조재형<sup>†</sup>  
 차세대전력기술연구센터.충북대학교\*, 서울대학교\*\*, 한국기술교육대\*\*\*, 강원대학교\*\*\*\*, 한국전력<sup>†</sup>

Voltage Regulation Method Considering Load Variation Characteristics of High and Low Voltage Distribution Line in Distribution System

T.E Kim\*, C.S Kim\*, J.E Kim\*, J.M. Son\*\*, J.K. Park\*\*, D.S Rho\*\*\*, K.H Kim\*\*\*\*, J.H Cho<sup>†</sup>  
 NPT Center, Chungbuk National University\*, Seoul National University\*\*  
 Korea University of Technology & Education\*\*\*, Kangwon National University\*\*\*\*, KEPCO<sup>†</sup>

**Abstract** - In general, it is supposed that load characteristics of high and low voltage distribution line are always coincidence. But in practical distribution system, voltage variation characteristics of high and low voltage distribution line are not same. Then, in this paper, we proposes a voltage regulation method considering load variation characteristics of high and low voltage distribution line in distribution system.

1. 서 론

컴퓨터와 같은 민감한 부하가 일반 저압수용가에 다수 도입됨으로써, 수용가 적정전압유지에 대한 일반인의 관심이 증폭되고 있다. 이에 따라, 기존에는 크게 문제시 되지 않던 일반 저압수용가가 규정전압유지조건을 만족하고 있는지의 여부를 정확하게 판단할 필요가 있다. 현재 선진외국의 전력회사를 비롯한 국내 한전의 경우, 배전계통 전압해석시 모든 선로구간의 부하역률이 동일하고, 변전소인출구부터 선로말단에 이르기까지 단방향전력조류라는 가정하에서 모든 선로구간의 부하를 역률일정의 정전류 부하로 보아 단순전압강계산법에 의한 전압해석을 수행하고 있다[1]. 또한, 현재 우리나라의 배전용변전소이하에는 수많은 개개의 수용가가 연결되어 있어, 개별적으로 전압조정이 이루어질 수 없다. 따라서, 모든 수용가의 전압을 규정전압범위내로 유지되도록 저압수용가의 단자전압을 고압측으로 환산하여, 고압측으로 환산된 전압값이 전압허용범위를 만족하도록 배전용변전소의 주변압기를 활용하여 전압조정을 한다. 이 때 고압측 및 저압측의 부하상태는 항상 일치하는 조건을 갖는다[2].

그러나, 실제 배전계통에 있어서는 뱅크전체특성, D/L의 특성 및 저압배전선의 특성에 따라 일치하는 경우도 있으나, 대부분은 22.9kV 특고압 라인의 부하상태와 저압배전선의 부하상태는 불일치하는 경우가 많다. 예를 들면, 공장지역으로 구성된 D/L이 다수 연결되어있는 동일 변전소에 주택지역 D/L이 연결되어있는 경우, 주택지역 D/L에 연결되어있는 저압수용가는 공장지역의 특성상 뱅크전체 일일 부하의 양은 거의 일정하나, 저압수용가의 경우 새벽시간에는 전력사용량이 거의 없기 때문에 저압배전선의 전압강하는 거의 없다. 따라서, ULTC의 동작특성상 뱅크 전체부하가 중부하이고, 해당 D/L의 저압배전선이 경부하일 때, 이 D/L에 연결되어있는 저압수용가의 단자전압은 부하사용량이 거의 없는 새벽시간에 전압상한 허용범위를 초과할 가능성이 매우 높다. 이것을 해결할 수 있는 방법은 저압배전선의 부하패턴을 분석하고, 이것을 이용하여 주변압기 2차측 송출전압의 유지범위를 설정하여두고 이 범위를 초과하지 않도록 전압조정을 하는 것이다.

본 논문에서는 고압배전선과 저압배전선의 부하상태가

불일치할 경우에 대한 전압특성곡선을 분석하였으며, 이 문제를 해결할 수 있는 저압배전선 스케줄 전압조정방법을 제시하고, 이를 22.9kV급 실계통에 적용하였다.

2. 배전계통 기본모델 및 전압조정 방법

2.1 배전계통모델

배전계통이라 함은 배전용변전소의 ULTC를 포함하는 그 이하의 계통을 의미한다. 우리나라 배전계통은 주변압기 용량 45/60MVA, 배전선로의 기준용량은 100MVA, 기준전압은 22.9kV이며, 각각의 피더는 용량이 10MVA이다. 이때 주변압기 1차측의 전압은 크기와 위상이 일정한 것으로 가정하고 조류해석을 수행한다. 부하는 일반적으로 유효전력량과 무효전력량을 일정하게 소비하는 정전력부하로 본다[2]. 그림 1은 일반적인 모델 배전계통을 나타낸다.

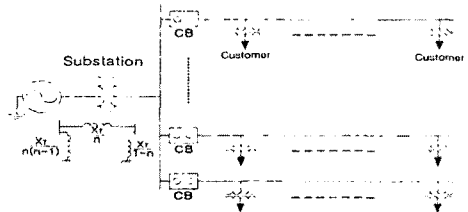


그림 1. 배전계통 기본 모델

2.2 배전계통 전압조정 방법

배전용변전소이하에는 수많은 개개의 수용가가 연결되어 있어, 개별적으로 전압조정이 이루어질 수 없다. 따라서, 모든 수용가의 전압을 규정전압범위내로 유지되도록 저압수용가의 단자전압을 고압측으로 환산하여, 고압측으로 환산된 전압값이 전압허용범위를 만족하도록 배전용변전소의 주변압기를 활용하여 전압조정을 한다. 이때 주상변압기로부터 저압수용가까지 이르는 주상변압기, 저압선로 및 인입선에서의 전압강하는 한국전력공사 배전용변전소 전압관리지침에 의거하여 표1과 같다[1]. 이 때 경부하는 중부하의 1/4부하로 가정한다.

표 1. 전압강하 요인 및 전압강하율

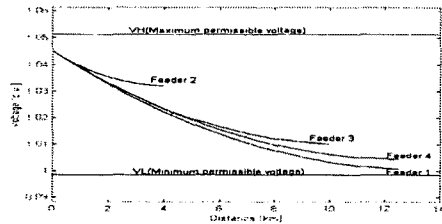
전압강하 요인	전압강하율	
	중부하	경부하 추정치
주상변압기	4.6[V] (2%)	1.15[V] (0.5%)
저압선	13.8[V] (6%)	3.45[V] (1.5%)
인입선	4.6[V] (2%)	1.15[V] (0.5%)

그러므로, 주상변압기 2차측 전압허용범위는 다음 식을 통하여 구할 수 있다.

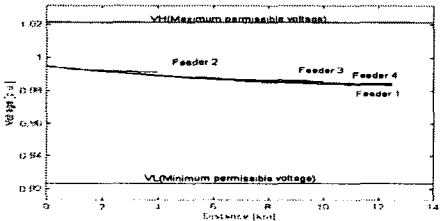
- 최소전압 : (207V+전압강하(주상변압기,저압선,인입선))×주상변압기탭비
- 최대전압 : (233V+전압강하(주상변압기,인입선))×주상변압기탭비

### 2.3 시간 일치 및 불일치에 따른 전압특성곡선

그림 2 및 그림 3은 고압 및 저압선의 부하가 일치하는 경우와 일치하지 않는 경우에 대한 각 D/L별 전압특성곡선이다. 그림 2에서와 같이 고압선 및 저압선이 부하상태가 일치하는 경우에는 모두 전압허용범위를 잘 만족하고 있으나, 그림 3에서 고압 및 저압선의 부하상태가 불일치하는 경우에는 전압유지허용범위를 초과하는 선로가 다수 발생할 수 있다.

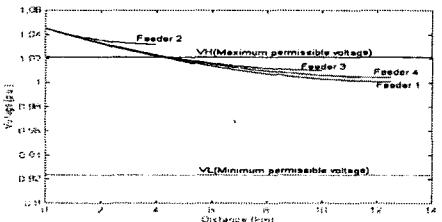


(a) 고압선 및 저압선 모두 중부하시

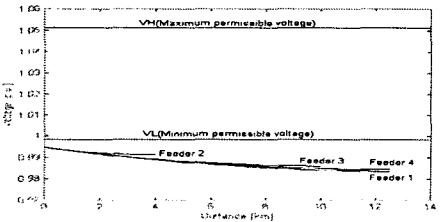


(b) 고압선 및 저압선 모두 경부하시

그림 2. 고압 및 저압선의 부하가 일치



(a) 고압선 경부하, 저압선 중부하시



(b) 고압선 중부하, 저압선 경부하시

그림 3. 고압 및 저압선의 부하가 일치하지 않는 경우

### 3. 시간불일치를 고려한 배전계통 전압조정방법

주상변압기(P.tr) 직하수용가의 단자전압을 207~233V 내로 유지하기 위한 22.9kV 선로측의 전압유지범위는 주상변압기 전압강하  $\Delta V_{ptr}$  및 수용가 인입선 전압강하  $\Delta V_{ent}$ 를 고려하면 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{207}{230} \leq V_{22.9, pu} \times \frac{230/230}{13200 \times \sqrt{3}/22900} - \Delta V_{ptr} - \Delta V_{ent} \leq \frac{233}{230} \quad (1)$$

또한, 주상변압기이하 저압선로의 말단수용가의 단자전압을 207~233V 내로 유지하기 위한 22.9kV 선로측의 전압유지범위는 주상변압기 전압강하  $\Delta V_{ptr}$ , 저압선 전압강하  $\Delta V_{low}$ , 및 수용가 인입선 전압강하  $\Delta V_{ent}$ 를 고려하면

$$\frac{207}{230} \leq V_{22.9, pu} \times \frac{230/230}{13200 \times \sqrt{3}/22900} - \Delta V_{ptr} - \Delta V_{ent} - \Delta V_{low} \leq \frac{233}{230} \quad (2)$$

로 나타낼 수 있다. 따라서, 주상변압기이하 저압선로의 모든 저압수용가의 적정전압유지를 위한 22.9kV 선로측 전압유지범위는 시간을 고려한 함수로서 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\left( \frac{207}{230} + \Delta V_{ptr}(t) + \Delta V_{ent}(t) + \Delta V_{low}(t) \right) \times 0.9984 \leq V_{22.9, pu}(t) \leq \left( \frac{233}{230} + \Delta V_{ptr}(t) + \Delta V_{ent}(t) \right) \times 0.9984 \quad (3)$$

식(3)에 근거하여 변전소 인출구의 22.9kV 선로측 전압유지범위는 식 (4)와 같게된다.

$$\left( \frac{207}{230} + \Delta V_{ptr}(t) + \Delta V_{ent}(t) + \Delta V_{low}(t) \right) \times 0.9984 \leq V_{22.9, SE}(t) \leq \left( \frac{233}{230} + \Delta V_{ptr}(t) + \Delta V_{ent}(t) \right) \times 0.9984 \quad (4)$$

또한, 22.9kV 선로말단의 전압유지범위는

$$\left( \frac{207}{230} + \Delta V_{ptr}(t) + \Delta V_{ent}(t) + \Delta V_{low}(t) \right) \times 0.9984 \leq V_{22.9, TE}(t) \leq \left( \frac{233}{230} + \Delta V_{ptr}(t) + \Delta V_{ent}(t) \right) \times 0.9984 \quad (5)$$

로 각각 표현할 수 있다. 그런데, 22.9kV 선로의 인출구에서 말단까지의 전압강하인  $\Delta V_{22.9, pu}(t)$ 를 고려한다면, 인출구 및 말단의 전압관계는

$$V_{22.9, pu, SE}(t) = V_{22.9, pu, TE}(t) + \Delta V_{22.9, pu}(t) \quad (6)$$

로 됨을 알 수 있다. 따라서, 변전소인출구 송출전압의 유지범위는 다음의 식을 만족해야 한다.

$$\left( \frac{207}{230} + \Delta V_{ptr}(t) + \Delta V_{ent}(t) + \Delta V_{low}(t) \right) \times 0.9984 + \Delta V_{22.9, pu}(t) \leq V_{22.9, pu, SE}(t) \leq \left( \frac{233}{230} + \Delta V_{ptr}(t) + \Delta V_{ent}(t) \right) \times 0.9984 \quad (7)$$

만약, 배전용변전소의 저압배전선 전압강하량을 안다면, 식 (7)로부터 주변압기 2차측 송출전압의 유지범위를 산출할 수 있다. 즉, 기존의 ULTC 전압조정방식은 유지하되, 주변압기 2차측 송출전압이 식 (7)로부터 산출된 송출전압유지범위를 초과하지 않도록 최대 및 최소 송출전압값을 설정하여 송출전압값을 제한한다.

#### 시간불일치를 고려한 배전계통 전압조정방법

- Step 1. 각 배전용변전소이하의 시간대별 저압배전선 전압강하량을 산출한다.
- Step 2. 전압강하가 가장 큰 선로의 시간대별 전압강하량을 산출한다.
- Step 3. 식 (7)로부터 각 시간대별 적정송출전압의 범위를 산출한다.
- Step 4. 만약, 기존의 ULTC 전압조정방식에 의해 산출된 주변압기 2차측 송출전압이 식 (7)로부터 산출된 시간대별 적정송출전압범위를 벗어나는 경우에는 산출된 시간대별 적정송출전압 최대

또는 최소값을 벗어나지 않도록 탭 동작을 제한한다.

#### 4. 사례 연구

##### 4.1 모델 배전계통

배전계통 저압배전선 전압강하를 추정하기 위하여 참고문헌 [2]의 그림 10과 같은 서청주 변전소 #2이하의 배전계통을 선정하였다. 선정된 배전계통은 주변압기용량 45/60MVA, 기준용량은 100MVA, 기준전압은 22.9kV이다[2]. 그림 4는 बैं크의 시간대별 일일부하량을 피크값을 기준으로 노말라이즈 한 값이다. 그림 4에서 알 수 있듯이 बैं크전체부하는 15시 및 20시경에 부하량이 피크치를 기록하였다.

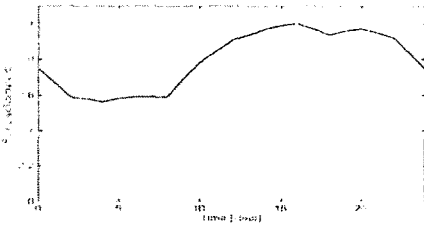


그림 4. 서청주 변전소 #2 이하의 일일 부하량

##### 4.2 전압배전선의 일일 부하패턴

시간불일치를 고려한 배전계통의 전압조정을 위해서는 주택용 부하의 일일부하패턴을 알 필요가 있다. 그러나 현실적으로 ULTC의 운전시 항상 주택용부하의 상태를 파악할 수 없으며, 각 D/L별로 부하의 상태가 다르므로 일률적으로 적용할 수 없다. 따라서, 본 논문에서는 하계의 중·소형주택 일일 부하곡선에 대한 일반적인 샘플을 그림 5와 같이 선정하였다[6]. 일반적인 중·소형주택에서는 오전 10시 및 20시 전후가 중부하이었으며, 새벽에는 경부하로 피크부하의 약 42%정도가 되었다.

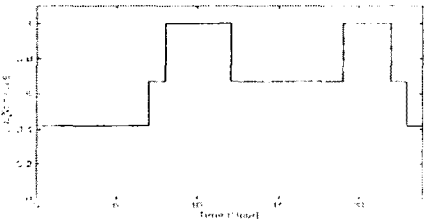


그림 5. 시간대별 저압배전선 부하량

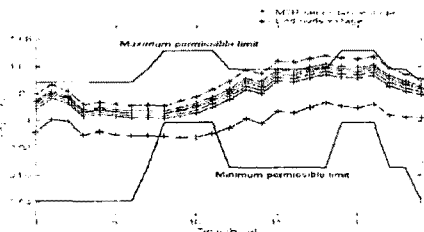


그림 6. 기존의 ULTC 전압조정방법

그림 6은 기존의 ULTC 전압조정방법에 의한 일일 주변압기 적하 및 각 선로의 말단전압특성곡선을 나타내는 것으로 “-”표시는 주변압기의 2차측 전압을 나타내며, “+”표시는 각 D/L의 말단전압의 크기를 나타낸다. 그림 6에서 오전 8시~11시 및 오후 15시~18시까지

는 규정전압 허용범위를 벗어나는 경우가 발생하였다. 이것은 주변압기의 탭은 बैं크전체 부하량에 따라 탭동작을 하지만, 전압허용범위는 저압수용가의 부하량에 비해 한 저압배전선 전압강하량에 따라 결정되므로, बैं크부하량과 저압배전선의 부하량이 일치하지 않을 경우 적정전압 유지범위를 벗어나는 경우가 발생하였다.

##### 4.3 제안된 저압배전선 스케줄 전압조정방법

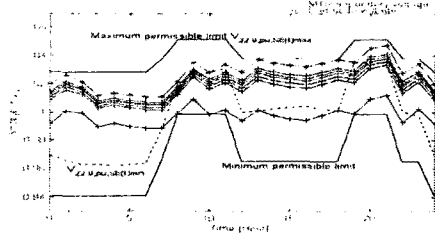


그림 7. 제안된 저압배전선 스케줄 전압조정방법

그림 7은 제안된 스케줄제어 전압조정방법에 의해 결정된 주변압기 2차전압 및 선로말단에서의 전압특성곡선을 나타낸다. 식 (7)에 의해 결정된 주변압기 2차측 전압허용범위의 상한은 전압상한 허용범위와 같고, 하한범위는 그림 7에서 점선으로 표시된 부분이다. 즉, 주변압기 2차측의 전압은 전압상한허용범위보다 작아야 하며, 또한, 그림 7에서의 점선부분보다 반드시 커야만 한다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 전압조정의 관점으로부터 고압배전선 및 저압배전선의 부하상태가 일치하지 않는 경우, 모든 수용가의 전압을 적정유지범위내로 유지하기 위한 시간불일치성을 고려한 배전계통 전압조정방법을 제안하였다. 제안된 저압배전선 스케줄 전압조정방법을 실제배전계통에 적용한 결과 모든 수용가의 전압이 적정유지전압 허용범위를 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 한국과학재단의 ERC 프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, 배전실무II, 1997.
- [2] 김태용, 김재연, “배전계통에 도입되는 분산전원의 운전가능범위 결정에 관한 연구”, 대한전기학회논문지, 제 51권, 2호, pp. 93-101, 2002, 2
- [3] Turan G nen : Electric Power Distribution System Engineering, McGraw-Hill series in electrical engineering, McGraw-Hill, New York, 1986
- [4] Electric Association Group in Japan : The Regulation and Management of Distribution Voltage, report, Vol.24, No.4, 1968.(In Japanese)
- [5] J.Kim et al. : Methods of Determining the introduction Limit of Dispersed Generation System in A distribution System from the Viewpoint of Voltage Regulation, IEE Japan, Trans., Vol.16-B
- [6] 한국전력공사, 가전기기 사용행태조사·연구, 1996, 6