

배전 시스템의 전압 강하 분담률에 관한 연구

박상만*, 박창호, 정영호, 최정환, 김충환*
한전 전력연구원, 중앙교육원*

A Study on the voltage drop apportion rates of the distribution systems

Sang-man Park*, Chang-ho Park, Yeong-ho Jeong, Jeong-hwan Choi, Choong-hwan Kim*
Korea Electric Power Research Institute KEPCO, KEPCO*

Abstract - The high quality power is consisted with uniform frequency, no interruption and uniform voltage. In these components, the voltage of the distribution systems affects making economic distribution facility and improving power quality. This paper describes on the voltage apportion rates of the distribution systems in KEPCO.

표 1 변전소 송출전압 유지 기준

· 변전소 단위 공급선로 전압강하 5% 미만 시 ⇒ 22.9kV ± 2.5%
· 변전소 단위 공급선로가 전압강하 5% 이상선로와 혼재 시 ⇒ 22.9kV +4% ~ -1%

1. 서 론

전력회사의 운영 목표는 경제적인 전력 공급 시스템 구축과 고품질 전력을 수용가에게 보내는 것이다. 고품질 전기는 전압과 주파수를 일정하게 유지하면서 정전이 없이 수용가에게 안정적인 전력을 공급하는 것이다. 이러한 품질 요소들 중 배전 시스템의 전압은 설비 투자의 경제성 및 전력품질 향상과 가장 영향이 크다고 할 수 있다. 배전설비별 전압강하 분담기준이 80년대 규정되어 계속 적용되어오고 있으나, 국내 수용가에 대한 공급 전압의 변화 및 배전기자재의 성능 향상으로 저압설비별 전압강하 기준의 재조정이 필요한 시점이 되었다. 본 논문에서는 새로운 배전계통 전압 강하 분담률에 대한 기준을 제시하였다.

탭절환장치의 운전방식 중, 자동 운전 시에는 상시 규정 전압 범위내로 자동으로 유지되도록 한다. 또한 변전소의 OLTC에 부가된 부속장치로서 부하 크기에 따라 적정전압을 자동으로 조정 공급하는 AVR(Automatic Voltage Regulator)이 고장 난 경우, 과거 자동운전시의 시간대별 전압 실적에 준하여 변전소 송출전압을 수동으로 조정한다.

둘째, 22.9kV 배전 선로에서 신규 부하 또는 기존 부하의 자연 증가로 전압 강하가 10%를 초과하거나, 초과가 예상되는 경우 가공 배전 선로에 직접 그림 1과 같은 배전 선로 자동 전압 조정 장치(SVR : Step Voltage Regulator 또는 PVR : Pole-mounted Automatic Voltage Regulator)를 설치하여 전압 관리를 하는 것이다.

2. 본 론

2.1 배전 시스템 전압 관리

우리나라의 배전 계통은 1차 배전계통과 2차 배전계통으로 나누며, 1차 배전계통은 배전용 변전소로부터 인출하여 수용가까지의 선로 가운데 22.9kV 특별고압 또는 6.6kV의 고압인 공급선로를 말한다. 2차 배전계통(저압 배전계통)은 1차 배전계통에 연결된 주상변압기 또는 지상 설치용 변압의 저압측 단자로부터 저압 수용가까지의 선로로 정의한다. 이러한 1, 2차 배전계통에 대한 전압 관리 방법과 설비별 관리 방법이 다르게 적용되고 있다. 본 절에서는 1, 2차 배전계통에 대한 전압 관리에 대해 기술하였다.



그림 1 자동 전압 조정 장치(SVR)

선로전압조정장치는 변전소 주변압기의 OLTC 동작 기능과 유사하며, 선로전압조정장치의 운전방식은 표 2와 같다.

2.1.1 1차 배전 계통의 전압 관리

1차 배전계통인 22.9kV 배전선로에서 기기를 이용한 전압 관리 방법은 다음의 2가지가 대표적이다. 첫째는 상시 배전용 변전소(이하 '변전소'라 함)의 주변압기에 설치된 부하시 탭절환장치(OLTC : On Load Tap Changer)를 사용하여 변전소 송출전압을 조정하는 것이다. 변전소의 송출전압은 배전선로 전압강하에 따라 전기사업법에서 규정한 공급전압이 유지될 수 있도록 조정되며, 표 1은 배전선로 전압강하에 따른 변전소 송출전압 유지 기준이다.

표 2 선로 자동 전압 조정 장치 운전 방식

· 선로전압강하보상 방식	· SVR 부하단의 부하중심점 전압을 상시 일정하게 유지하는 자동운전방식
· 프로그램 방식	· 운전 시간대별 부하기록을 프로그램화 하여 SVR 송출전압을 조정하는 방식
· 고정 방식	· SVR 송출전압을 고정하여 운전하는 방식

2.1.2 2차 배전 계통의 전압 관리

저압 배전 계통의 전압 관리는 주상변압기(이하 '변압기'라 함)의 탭 조정, 저압선의 경간 수 제한 및 인입선의 연결 제한 등이 설계기준으로 적용되고 있는 일반적인 방법이다.

첫째, 변압기 탭 조정방식은 표 3과 같이 전압강하 구간별 사용 탭 전압에 따라 해당 구간에 설치되는 변압기의 1차권선 탭을 조정하는 방식이다.

표 3 주상 변압기 탭 조정

공급전압	주상변압기 규격	전압강하 구간별 사용 탭(V)	
		5% 이하	5~10%이하
110V	12,600 / 210-105V	12,000	11,400
	12,600 / 230-115V	13,200	12,600
	6,600 / 210-105V	6,000	5,700
220V	12,600 / 230-115V	13,200	12,600
	12,600 / 460-230V	13,200	12,600
	6,600 / 460-230V	6,600	6,300

주) 저손실형 및 자기 진단형 주상변압기 등과 같이 무(無) 탭 변압기는 전압강하가 5%이내인 구간에만 설치 함

둘째, 현재 저압선에 대한 전압관리는 공급전압이 220V 경우, 저압선에서의 전압강하가 13V초과하지 않도록 선종별, 지역별로 경간수를 제한하고 있다.

마지막으로 인입선의 전압관리는 연결인입선 호수를 도심지역에서는 1호, 농어촌 지역에서는 3호 이내로 하고, 연결인입선 기준 공장은 20m 이내로 제한하고 있다.

2.2 배전 선로 전압 강하 분담률

앞에서 기술한 배전 계통의 전압 관리 방법은 1차와 2차 각 배전 선로의 전압 강하 한도를 규정하고, 배전 계통의 설비를 설정된 규정 값 이내로 운영하는 것을 말한다. 여기서 각 배전 계통의 전압강하 한도를 전압 강하 배분한도 또는 전압강하 분담률이라고 한다. 현재 1차와 2차 배전 선로의 전압강하 분담률을 각각 10%로 규정하고 있다.

2.2.1 1차 배전 계통의 전압 강하 분담률

1차 배전 선로의 전압 강하율은 10% 이내로 하여야 한다. 전압 강하율은 D/L(Distribution Line)별 최대 부하 실적을 고려하여 전압강하 프로그램으로 다음 계산식(1)에 따라 산정한다.

$$\epsilon = K \cdot \frac{Z \cdot I \cdot l}{1,000} [V] \quad (1)$$

$$Z = R \cos\theta + X \sin\theta \quad (2)$$

ϵ : 전압강하 [V]

Z: 전선 1초의 km당 등가 임피던스 [Ω /km]

R: 전선 1초의 km당 등가 저항 [Ω /km]

X: 전선 1초의 km당 등가 리액턴스 [Ω /km]

$\cos\theta$: 선로의 역률

l: 선로 공장 [m]

I: 선로 전류 [A] (구간평균 전류)

K: 배전방식에 따라 정해지는 상수(표 4)

표 4 배전방식별 K 값

배전방식	K
단상 2선식	2
단상 3선식	1
3상 3선식	$\sqrt{3}$
3상 4선식	1

1차 배전 선로의 전압 강하율이 10%를 초과되거나 예상되는 경우, 변전소를 부하 중심점에 가까이 신설하거나, 배전 회선의 분리, 상위 전선규격으로 전선 교체, 또는 자동 전압 조정기 설치 등의 방법으로 전압 강하를 개선한다.

2.2.2 2차 배전 계통의 전압 강하 분담률

2차 배전 선로의 전압 강하 한도는 변압기 2%, 저압선 6%와 인입선 2%의 전압 강하율을 합하여 총 10% 이내로 하고 있다. 현재, 2차 배전 선로의 전압 강하 분담률 적용에 있어 문제점으로 다음과 같다. 첫째, 변압기 전압 강하 분담율의 규정 근거에 대하여 재검토가 필요하며, 둘째, 변압기 송출전압 변동에 따라 수용가에 공급되는 전압이 저전압이 발생될 수 있어, 저압선 전압 강하 분담률을 개선할 필요가 있다. 인입선에 대하여는 공장 짧고, 연결 등을 제한하고 있으므로 기존 전압 강하 분담률을 계속 적용 할 수 있으나, 인입선의 전압강하가 개선될 경우 저압선의 전압 강하와 병합하여 총 전압 강하를 계산하면 경제적인 배전 시스템을 구성 할 있다.

2.2.3 변압기 전압 강하 분담률(2%)

변압기의 전압강하 분담률은 변압기 내부 전압 변동률로 규정할 수 있다. 즉 변압기 변동률은 내부저항에 의한 전압강하와 리액턴스에 의한 전압강하의 함수로 식(3)과 같다. 결국, 전압 변동률은 변압기가 허용될 수 있는 전압 강하 범위를 나타낸다고 할 수 있다.

임의의 역률 $\cos\theta$ 인 경우의 전압 변동률은

$$\epsilon (\%) = q_r \cos\theta + q_x \sin\theta + \frac{(q_x \cos\theta - q_r \sin\theta)^2}{200} \quad (3)$$

여기에서 q_r : 저항에 의한 전압 강하 (%)

$$q_r = \frac{P_{75}}{EI} \times 100 \quad (4)$$

q_x : 리액턴스에 의한 전압 강하(%)

$$q_x = \frac{E_x}{E} \times 100 \quad (5)$$

P_{75} : 75℃로 보정한 정격 용량에 대한 부하손실(W)

E: 정격 1차 전압 (V)

I: 정격 1차 전류 (A)

$$I = \frac{\text{정격용량}}{\text{정격 1차 전압}} \times 100 \quad (6)$$

E_x : 리액턴스 전압 (V)

$$E_x = \sqrt{E_r^2 - \left(\frac{P_1}{I}\right)^2} \quad (7)$$

E_z : 임피던스 전압 즉, P_1 를 측정했을 때의 1차 단자 사이에서의 전압 (V)

P_1 : t℃에서 정격 용량에 대한 부하손실(W)

배전계통에서의 사용되는 주상변압기는 일반형, 저손실형, 자기진단형, 보호장치내장형 및 아몰퍼스형 등으로 구분하고 있으며, 현재 KSC규정 및 한전 구매규격에서 적용하고 있는 일반변압기의 전압 변동률은 2.3%~1.6%로 되어 있으나, 변압기의 철심이 G9 → G6급으로 향상된 저손실 변압기의 사용이 확대 표준화되고 있어, 앞으로 전압 변동률은 2% 이하로 개선되고 있다고 할 수 있다. 표 5는 특별고압 변압기의 전압 변동률을 용량별로 나타냈다.

표 5 22.9 kV(Y) 12600V 변압기 전압 변동율(KS4306)

정격용량 kVA	정격용량과 같은 출력 에서의 전압변동률 % ('03.12.말 기준 설치현황)	비고
	60 Hz	
5	2.6	구식 품목
10	2.3	현재 기준
15	2.0	
20	1.9	
30	1.7	
50	1.6	
75	1.6	
100	1.6	

현재 변압기의 전압 강하 분담률(2%)은 변압기 전압 변동률로 규정하며, 과거에 주로 사용한 20kVA 이하 소용량 변압기의 전압 변동률인 2%를 전압 강하 분담률을 규정하고 있다고 할 수 있다. 현재 이러한 소용량 변압기(전압변동률 2%이하 변압기)가 배전 계통에 설치된 전체 변압기에 대한 용량 점유비가 그림 2와 같이 약 10%이하이다.

주상변압기 전압변동률 분담비

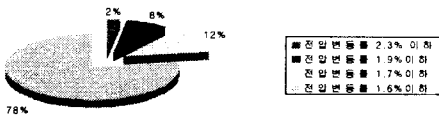


그림 2 주상변압기의 전압 변동률별 설치 용량비

향후 대용량 변압기의 사용 추세에 맞추어 용량점유율이 95%에 도달하는 경우 최대 전압 변동률을 전압 강하 분담률로 규정할 필요가 있다.

2.2.4 저압선 전압 강하 분담률(6%)

저압선의 전압 강하 분담률은 6%로 220V 공급선로에서 13V의 전압 강하를 고려한 것이다. 저압선로의 공급 전압은 중부하부터 경부하까지 변전소 송출전압 변동에 따라 변화하게 된다. 즉, 변전소 송출전압이 어떠한 값으로 변동하여도 공급전압은 전기사업법에 명시된 규정 전압 220±13V의 범위 내에 유지되어야 한다. 만일, 변압기(2%)와 인입선(2%)에 대한 전압강하 분담률을 고정하고 변전소 송출전압을 가변시켜 수용가의 전압을 계산하면 그림 3과 같다. 여기서 중부하시 수용가 일부의

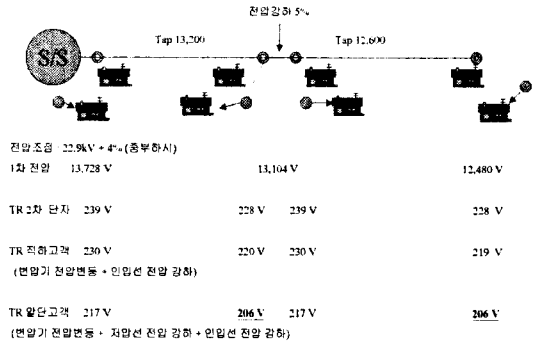


그림 3 중부하시 배전 시스템의 전압 분포

공급전압이 206V로 최저 전압 유지기준인 207V보다 낮게 나타난다. 그러므로 현재의 6%인 전압강하 분담률은 개정될 필요가 있다. 즉, 저압선의 전압 강하 분담률을 6% → 5% ~ 1%로 하여, 각 경우 변전소 송출전압 변화에 따른 모든 수용가의 공급전압이 규정전압 내에 들어올 수 있는 최소 분담률을 찾아야 한다. 이 경우 전압강하 분담률이 4%가 되면 변전소 송출전압에 관계 없이 모든 수용가가 규정전압 범위 내에 들어올 수 있다.

저압선의 전압 강하 분담률(6%)은 현재 수용가에 공급한 전압이 규정전압 범위를 초과할 수 있으며, 이에 대한 적절한 분담률은 그림 4와 같이 4%로 조정하는 타당하다.

설비별	특고압선	변압기	저압선	인입선
현 분담률	10%	2%	6%	2%
분담률 (안)	10%	2%	4%	2%

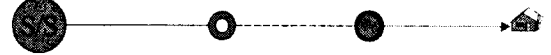


그림 4 배전 계통의 설비별 전압 강하 배분한도

인입선은 선종이 다양하여도 공급경간이 일반 지지물 경간보다 짧으므로 현재 전압 강하 분담률 2%를 초과하지 않는다고 할 수 있어, 현 전압 강하 분담률을 계속 적용할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 경제적인 배전시스템 구성을 위하여, 저압 배전 설비(변압기 및 저압선)의 전압강하 분담률 기준을 새롭게 정의하고 제시하였다.

제시된 전압 강하 분담률에 대한 기준은 배전 시스템의 전압 품질을 경제적인 배전 설비로 유지할 수 있어, 전력회사 뿐만 아니라 산업 발전 및 국민 문화생활의 질적 향상을 도모할 수 있다고 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 박창호, 박상만, 이문석, 최정환, 김명선 "배전전압관리 개선에 관한 연구(최종보고서)", 산업자원부, pp13~pp22, 2004
- [2] 판매사업단 배전처, "배전전압관리업무지침", pp4~pp14, 1995