

배전계통 저압배전선 전압강하 추정방법

김태운*, 김창순*, 김재언*, 손진만**, 박종근**, 노대석***, 김광호****, 조재형[†]
 차세대전력기술연구센터, 충북대학교*, 서울대학교**, 한국기술교육대***, 강원대학교****, 한국전력[†]

Estimation of Voltage Drop in Low Voltage Distribution Line

T.E Kim*, C.S Kim*, J.E Kim*, J.M. Son**, J.K. Park**, D.S Rho***, K.H Kim****, J.H Cho[†]
 NPT Center, Chungbuk National University*, Seoul National University**
 Korea University of Technology & Dducation***, Kangwon National University****, KEPCO[†]

Abstract - Voltage drop of low voltage distribution line is closely related with proper voltage regulation. It depends on the voltage drop of pole transformer, low voltage distribution line, and low voltage customer entrance line. Using above voltage drop factors, we proposes an estimation method of voltage drop in low voltage distribution line. Proposed method has been applied to a 22.9kV practical distribution system.

1. 서 론

현대사회는 전기·전자 및 정보통신기술의 발달로 다양화 및 고급화하고 있는 추세이다. 이러한 추세에 맞추어 기존에는 고려하지 않던 전기의 품질에 대한 국민들의 관심 또한 증가하고 있다. 기존의 전동부하와 같은 단순부하만 존재하는 경우에는 배전계통의 전압유지관리가 쉬웠으나, 컴퓨터와 같은 민감한 부하가 저압수용가에 다수 도입이 됨으로써, 전압품질이 중요하게 인식되고 있다. 특히, 수용가의 수전단전압을 항상 규정값으로 유지한다는 것은 주파수의 규정값 유지와 더불어 양질의 전력을 공급한다는 측면에서 필요불가결한 사항이다. 일반적으로 수용가의 전기기기는 정격전압에서 사용할 경우 가장 좋은 성능을 발휘하도록 설계되기 때문에 만일 전압이 정격에서 벗어나면 효율저하, 수명단축, 손실증대 등의 나쁜 영향이 나타난다[1]. 따라서, 일반저압수용가가 규정전압유지조건을 만족하고 있는지의 여부를 정확히 판단하는 것은 매우 중요하다.

현재 국내에는 저압(220V) 및 특고압(22.9kV)으로 송압한 이후로 특히, 저압설비 즉, 주상변압기, 저압배전선 및 저압수용가 인입선의 전압강하가 저압선로의 부하특성(중부하시에서 경부하시에 이르기까지의 시간대별 부하특성곡선)을 고려하여 측정된 데이터가 없다. 이 데이터는 송출전압의 적정범위를 유지하는데 대단히 중요한 요소이기 때문에 이를 파악하기 위한 측정업무가 합리적으로 이루어져야 한다.

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[1]. 이때 저압수용가의 전압을 고압측으로 환산하기 위해서는 주상변압기의 전압강하, 저압배전선 및 저압수용가 인입선의 전압강하가 정확하게 예측되어야만 한다. 그렇지 않을 경우 주변압기 2차측의 전압은 기준에 설정된 범위내에서 잘 동작한다 하여도, 저압수용가의 전압이 적정유지범위를 만족하지 못하는 경우가 발생할 수 있다[2].

따라서, 본 논문에서는 배전계통 적정전압의 유지목표를 위해 현재의 계통과 설비 상황하에서 실측데이터를 취득 분석하여, 배전계통 저압배전선 전압강하 추정방법

을 제시하고자 한다. 제안된 방법은 22.9kV급 실제 배전계통에 적용하여 실제 배전계통에 있어서의 저압배전선 전압강하율을 제시한다.

2. 배전계통 기본모델 및 저압배전선 전압강하율

2.1 배전계통모델

배전계통이라 함은 배전용변전소의 ULTC를 포함하는 그 이하의 계통을 의미한다. 우리나라 배전계통은 대부분 주변압기 용량 45/60MVA, 배전선로의 기준용량은 100MVA, 기준전압은 22.9kV이며, 각각의 피더는 용량이 10MVA이다. 또한, 주변압기 1차측의 전압은 크기와 위상이 일정한 것으로 가정하고 조류해석을 수행한다. 부하는 유효전력량과 무효전력량을 일정하게 소비하는 정전력부하로 보는 것이 일반적이므로, 본 논문에서도 주변압기 이하에 연결되어있는 모든 부하를 정전력부하로 처리한다. 그림 1은 배전계통의 기본모델을 나타낸다[2].

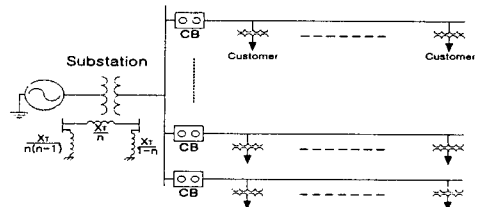


그림 1. 배전계통 기본 모델

2.2 배전계통 저압배전선 전압강하율

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 저압수용가 인입선에서의 전압강하는 한국전력공사 배전용변전소 전압관리지침에 의거하여 표1과 같다[1][2][3]. 이 때 경부하에 대한 전압강하율은 중부하의 1/4로 가정하였다.

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%) |

주상변압기 2차측 전압허용범위는 아래와 같은 방법의 의해 산출 할 수 있다.

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

위의 관계를 통하여 얻어진 증부하 및 경부하에 대한 주상변압기 1차전압의 허용범위는 표 2와 같다.

표 2. 주상변압기 1차 전압 허용범위

| 구 분 | | 중부하 | 경부하 추정치 |
|------|---------|-----------|-----------|
| 최소전압 | 5% Tap | 22.863[V] | 21.148[V] |
| | 10% Tap | 21.824[V] | 20.187[V] |
| 최대전압 | 5% Tap | 24.076[V] | 23.390[V] |
| | 10% Tap | 22.981[V] | 22.327[V] |

3. 배전계통 저압배전선 전압강하 추정방법

여기서는, 실제 측정된 주변압기 인출구의 전압 및 전류치 그리고 임의의 저압수용가에 대한 실측 전압치를 이용하여 저압배전선의 전압강하를 추정하는 방법에 대하여 설명한다.

먼저, 저압배전선 전압강하를 추정하기 위한 기지량은 다음과 같다.

- 주변압기 2차측 실측전압
- D/L별 전류량
- 주상변압기 직하 및 말단 수용가 전압

주상변압기 직하 및 말단 저압수용가의 전압 실측치로부터 주상변압기 전압강하와 수용가 인입선 전압강하의 합 또는 주상변압기 전압강하와 수용가 인입선 전압강하 및 저압배전선의 전압강하의 합을 구하는 방법은 다음과 같다.

주상변압기 직하 수용가의 실측 전압을 v_m 이라 하고, 동일 주상변압기의 1차측 지점의 시뮬레이션 결과치를 V_{sm} 라 하면, 주상변압기의 전압강하 및 수용가 인입선의 전압강하의 합은 다음식으로부터 구할 수 있다. 이 때 주상변압기의 탭은 13200V/230V인 5%탭 한 종류를 사용하는 경우라고 가정한다.

$$(v_m + \Delta v_{pr} + \Delta v_{ent}) \times \frac{\sqrt{3} \times 13200}{230} = V_{sm} \quad (1)$$

여기서, v_m : 주상변압기 직하 저압수용가 측정전압
 V_{sm} : 측정지점의 주상변압기 1차측 시뮬레이션 전압

Δv_{pr} : 주상변압기 전압강하
 Δv_{ent} : 수용가 인입선 전압강하

식 (1)을 p.u. 단위로 바꾸기 위하여 양변을 주상변압기 1차측 전압인 22900V로 나누면, 식 (1)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$(v_m + \Delta v_{pr} + \Delta v_{ent}) \times \frac{\sqrt{3} \times 13200}{230 \times 22900} = V_{sm(p.u.)} \quad (2)$$

여기서, 주상변압기에서의 전압강하 및 수용가 인입선의 전압강하 부분만 남기면, 식 (2)는 다음과 같이 된다.

$$\Delta v_{pr} + \Delta v_{ent} = V_{sm(p.u.)} \times \frac{230 \times 22900}{\sqrt{3} \times 13200} - v_m \quad (3)$$

저압선 전압강하를 단위법으로 나타내기 위해 양변을 주상변압기 2차측 기준전압인 230V로 나누어주면 다음과 같이 된다.

$$\Delta v_{pr(p.u.)} + \Delta v_{ent(p.u.)} = V_{sm(p.u.)} \times \frac{230 \times 22900}{\sqrt{3} \times 13200} - \frac{v_m}{230} \quad (4)$$

여기서, 주상변압기 직하 저압수용가에 대한 전압강하를 $\Delta V_{low,min}$ 이라하면, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta v_{low,min} = \Delta v_{pr} + \Delta v_{ent} \quad (5)$$

식 (4)를 식(5)에 대입하면, 주상변압기 직하 저압수용가에 대한 전압강하($\Delta V_{low,min}$ = 주상변압기 전압강하 + 수용가인입선 전압강하)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta v_{low,min} = V_{sm(p.u.)} \times \frac{230 \times 22900}{\sqrt{3} \times 13200} - \frac{v_m}{230} \quad (6)$$

또한, 주상변압기 이하의 말단 저압수용가에 대한 전압강하($\Delta V_{low,max}$)를 식 (7)이라고 하면,

$$\Delta v_{low,max} = \Delta v_{pr} + \Delta v_{ent} + \Delta v_{low,line} \quad (7)$$

위와 같은 방법으로 주상변압기이하 저압선로 말단수용가까지의 전압강하($\Delta V_{low,max}$ = 주상변압기 전압강하 + 저압배전선 전압강하 + 수용가인입선 전압강하)는 다음 식으로부터 산출될 수 있다.

$$\Delta v_{low,max} = V_{sm(p.u.)} \times \frac{230 \times 22900}{\sqrt{3} \times 13200} - \frac{v_m}{230} \quad (8)$$

식 (6) 및 (8)로부터, 실측치를 이용한 저압배전선 전압강하(주상변압기 직하 저압수용가에 대한 전압강하($\Delta V_{low,min}$) 또는 주상변압기 말단 저압수용가에 대한 전압강하($\Delta V_{low,max}$))의 추정방법은 다음과 같은 순서로 해석될 수 있다.

배전계통 저압배전선 전압강하 추정방법

- Step1: 대상배전계통의 회선별 단선도를 구성한다.
- Step2: 대상배전계통의 주변압기 2차측 전압 및 전류를 측정된 D/L 인출구전압 및 전류값과 같도록, 조류계산을 수행하여 (선로설비용량 × α)의 α를 조정한다.
- Step3: 조류계산을 수행하여 실측지점의 주상변압기 1차측 시뮬레이션 전압값($V_{sm(p.u.)}$)을 산출한다.
- Step4: 주상변압기 2차측 실측전압값 v_m 과 시뮬레이션 결과값인 $V_{sm(p.u.)}$ 를 식 (6) 또는 식 (8)에 대입한다.
- Step5: 주상변압기 직하 저압수용가에 대한 전압강하($\Delta V_{low,min}$) 또는 주상변압기 말단 저압수용가에 대한 전압강하($\Delta V_{low,max}$)를 산출한다.

4. 사례 연구

4.1 모델 배전계통

배전계통 저압배전선 전압강하를 추정하기 위하여 그림 2와 같은 국내 배전계통의 임의의 D/L을 선정하였다. 모델 배전계통의 변압기용량은 45/60MVA이며, 기준용량은 100MVA, 기준전압은 22.9kV이다. 그림 2에서 실제전압측정지점은 선로말단으로 (•)로 표시된 지점이다.

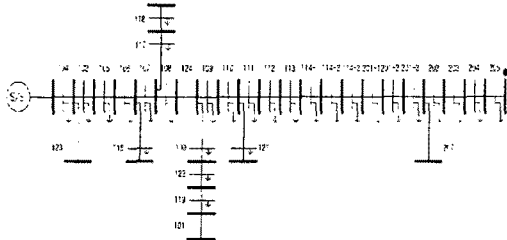


그림 2. 선정된 D/L 이하의 배전계통

4.2 모델 배전계통의 선로 및 전압조건

선정된 모델 배전계통은 하계기간인 7월 30일 하루동안의 시간대별 변전소 주변압기의 부하용량과 D/L의 전류량 그리고 주변압기 2차전압 및 실제 측정지점의 전압을 표 3에 나타내었다.

표 3 D/L의 7월 30일 실측데이터

| 시간 | 뱅크 부하량 (MW) | D/L 전류량 (A) | 주변압기 2차전압 (V) | 주상변압기 직하 저압수용가 측정전압 (v_m) |
|----|-------------|-------------|---------------|-------------------------------|
| 1 | 22.6 | 78.0 | 111.7 | 232.8 |
| 2 | 21.5 | 68.9 | 111.4 | 233.1 |
| 3 | 20.7 | 64.8 | 111.8 | 233.8 |
| 4 | 20.3 | 64.5 | 111.7 | 233.8 |
| 5 | 20.4 | 64.8 | 111.1 | 232.9 |
| 6 | 20.5 | 66.5 | 111.2 | 232.7 |
| 7 | 22.4 | 70.6 | 111.5 | 232.0 |
| 8 | 26.2 | 78.6 | 110.9 | 227.2 |
| 9 | 31.7 | 98.2 | 111.2 | 223.5 |
| 10 | 36.6 | 101.7 | 111.2 | 221.6 |
| 11 | 38.3 | 107.3 | 111.0 | 223.7 |
| 12 | 39.3 | 107.3 | 112.6 | 225.6 |
| 13 | 35.0 | 101.4 | 110.9 | 226.4 |
| 14 | 38.6 | 105.2 | 111.2 | 224.6 |
| 15 | 39.2 | 109.9 | 112.0 | 225.2 |
| 16 | 38.2 | 103.8 | 111.5 | 224.8 |
| 17 | 38.1 | 104.1 | 112.3 | 226.0 |
| 18 | 35.3 | 99.7 | 112.2 | 228.3 |
| 19 | 33.4 | 92.9 | 111.0 | 227.0 |
| 20 | 34.0 | 99.1 | 110.9 | 218.4 |
| 21 | 33.1 | 100.5 | 111.5 | 220.4 |
| 22 | 31.4 | 96.1 | 110.9 | 228.7 |
| 23 | 32.6 | 106.7 | 111.5 | 231.3 |
| 24 | 30.9 | 93.8 | 111.3 | 231.2 |

표 3에서 주변압기 뱅크부하량은 12시에 39.3MW로 최대를 기록하였으며, 이 때 주변압기 2차측의 전압은 112.6V를 기록하였다. 또한, 뱅크의 부하량이 최소인 시간은 4시로 20.3MW이다. 그러나, 표 3에서 알 수 있듯이 저압수용가의 전력소비가 거의없는 새벽시간에는 측정지점의 전압이 전압상한범위를 벗어나는 경우가 다수 발견되었다.

4.3 제안된 방법에 의해 산출된 저압배전선 전압강하 추정치

표 3의 기지량을 식 (6)에 대입한 결과, 제안된 방법에 의해 산출된 저압배전선의 전압강하는 표 4와 같다. 표 4에서는 각 시간대별 주변압기 2차전압, 주상변압기 직하 저압수용가 측정전압 및 시뮬레이션을 통한 측정점의 주상변압기 1차측 전압 그리고 저압선 전압강하 추정치를 보여주고 있다.

표 4에서 22시부터 새벽 7시까지의 저압배전선 전압강하가 (-)로 산출되었다. 이 부분은 주변압기 2차측에 연결되어있는 PT의 측정오류로 추정된다. 결과적으로 중부하시는 약 4.32%의 전압강하가 발생하였으며, 경부하시는 저압배전선 전압강하가 거의 발생하지 않았다.

표 4 D/L의 저압배전선 전압강하 추정치

| 시간 | 주변압기 2차전압 | 측정전압 ($v_{m.p.u.}$) | 측정지점 주상변압기 1차측전압 | 전압강하 추정치 ($\Delta V_{low,min}$) |
|----|-----------|-----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 1 | 1.0138 | 1.0122 | 1.0017 | -0.0089 |
| 2 | 1.0111 | 1.0135 | 1.0004 | -0.0115 |
| 3 | 1.0147 | 1.0165 | 1.0046 | 0.0103 |
| 4 | 1.0138 | 1.0165 | 1.0038 | -0.0111 |
| 5 | 1.0084 | 1.0126 | 0.9983 | -0.0127 |
| 6 | 1.0093 | 1.0117 | 0.9990 | -0.0111 |
| 7 | 1.0120 | 1.0087 | 1.0011 | -0.0060 |
| 8 | 1.0066 | 0.9878 | 0.9943 | 0.0081 |
| 9 | 1.0093 | 0.9717 | 0.9940 | 0.0239 |
| 10 | 1.0093 | 0.9635 | 0.9935 | 0.0316 |
| 11 | 1.0075 | 0.9726 | 0.9907 | 0.0197 |
| 12 | 1.0220 | 0.9809 | 1.0053 | 0.0261 |
| 13 | 1.0066 | 0.9843 | 0.9907 | 0.0080 |
| 14 | 1.0093 | 0.9765 | 0.9929 | 0.0179 |
| 15 | 1.0165 | 0.9791 | 0.9995 | 0.0220 |
| 16 | 1.0120 | 0.9774 | 0.9958 | 0.0200 |
| 17 | 1.0193 | 0.9826 | 1.0030 | 0.0220 |
| 18 | 1.0184 | 0.9926 | 1.0028 | 0.0118 |
| 19 | 1.0075 | 0.9870 | 0.9930 | 0.0076 |
| 20 | 1.0066 | 0.9496 | 0.9912 | 0.0432 |
| 21 | 1.0120 | 0.9583 | 0.9963 | 0.0397 |
| 22 | 1.0066 | 0.9943 | 0.9916 | -0.0011 |
| 23 | 1.0120 | 1.0057 | 0.9953 | -0.0087 |
| 24 | 1.0102 | 1.0052 | 0.9956 | -0.0080 |

6. 결론

본 논문에서는 실배전계통의 실측데이터를 이용하여 주상변압기 직하 저압수용가의 저압배전선 전압강하량을 추정하는 방법을 제안하였다. 선정된 배전계통에 대한 저압배전선 전압강하량을 추정한 결과 중부하시에는 기존 한국전력에서 제시했던 전압강하율과 유사했으나, 저압수용가의 전력소비가 거의 없는 새벽시간에는 다소 차이가 발생하였다. 배전계통 전압조정에 있어 정확한 저압배전선 전압강하를 알리는 것은 적정송출전압을 결정하는데 매우 중요한 요소이나, 현실적으로 직접 측정이 어려우므로, 본 논문에서 제시한 저압배전선 전압강하 추정방법이 적정전압유지를 위한 배전계통 전압조정에 조금이나마 보탬이 되었으면 하는 바램이다.

감사의 글

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

(참 고 문 헌)

- [1] 한국전력공사, 배전실무II, 1997.
- [2] 김태용, 김재연, "배전계통에 도입되는 분산전원의 운전가 능범위 결정에 관한 연구", 대한전기학회논문지, 제 51 권, 2호, pp. 93-101, 2002, 2
- [3] 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
- [4] Electric Association Group in Japan : The Regulation and Management of Distribution Voltage, report, Vol.24, No.4, 1968.(In Japanese)
- [5] Turan G nen : Electric Power Distribution System Engineering, McGraw-Hill series in electrical engineering, McGraw-Hill, New York, 1986