

22.9kV 배전선로 전력손실산출 기법에 관한 연구

A Study on Calculation Method of Power Losses in 22.9kV Power Distribution Lines

황인성* · 홍순일* · 문종필†
(In-Sung Hwang · Soon-Il Hong · Jong-Fil Moon)

Abstract - In this paper, we calculated the losses in the high voltage lines of power distribution system. The losses caused by high voltage lines are calculated using maximum current, resistance, loss factor, and dispersion loss factor. The accurate extraction of these factors are very important to calculate the losses exactly. Thus, the maximum loads are subdivided to regions and calculated monthly for more accurate maximum current calculation. Also, the composite resistance is calculated according to the ratio of the used wire types. In order to calculate the loss factor, the load factors according to the characteristics of each region were calculated. Finally, the losses of the distribution system is calculated by adding the losses by the transformers and the low voltage lines.

Key Words : Power loss, Load factor, Loss factor, Loss calculation

1. 서 론

정확한 송배전손실 산출은 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 많은 전력회사에서 꾸준히 연구하고 있는 분야이다 [1-3]. 2016년 기준 우리나라 송배전 손실률은 3.7%를 유지하고 있다. 이러한 송배전 손실률을 분석하고 개선하기 위해서는 송전, 변전, 배전 각 부분별로 발생하는 손실산출이 가장 우선이다. 현재 한국전력공사에서는 발전전력량과 배전단의 배분전력량의 차를 통하여 송변전손실량을 산출하고 있으며, 배분전력량과 판매전력량 차를 통해 배전손실량을 간단히 산출하고 있다. 그러나 송전, 변전, 배전 및 그 세부 항목별 손실률을 산출하여야만 손실률 감소 및 개선을 위한 다양한 방안을 도출할 수 있다. 그러나 전력계통의 각 설비별로 발생하는 손실을 산출하는 것은 간단한 일이 아니다. 특히 배전계통의 경우 기기의 수가 너무 많고, 선로의 총길이가 송전선로의 10배 정도로 매우 길기 때문에 모든 요소를 고려한 손실계산은 불가능하다. 따라서 배전손실의 경우 손실을 발생시키는 비중을 큰 요소들을 최대한 세분화하여 고려하는 것이 신뢰성을 높일 수 있는 방법이다.

배전계통의 전력손실 발생 요소는 고압배전선로와 주상변압기, 저압배전선로, 인입선, 계량기 등이 있다. 본 논문에서는 배전계통에서 발생하는 손실 산출의 정확성을 높이기 위하여 개선된 고압선로 손실 산출 기법을 제안하였다. 고압선로 손실을 산출하기 위해서는 기본적으로 최대전류, 저항, 손실계수, 분산손실계수 값이 필요하다. 그러나 우리나라의 실제 배전계통 데이터, 즉 선로별 최대전류 값과 평균적으로

가장 많이 사용하는 선종의 저항, 부하율 평균에 따른 손실계수, 부하의 분포를 고려한 분산손실 계수값을 이용하여 고압선로 손실을 산출하면 실제 값과 많은 오차가 발생하게 된다.

따라서 본 논문에서는 보다 정확한 손실을 산출하기 위해 손실계산에 필요한 여러 요소를 세분화하여 정확성을 높이는 방안을 제시하였다. 우선, 우리나라 지역을 13개의 지역으로 나누고 각 지역에 대하여 월별 최대부하값을 이용하였다. 고압배전선로의 모든 선종의 저항을 고려하기 위하여 각 선종의 비율을 고려한 합성저항을 산출하였다. 손실계수는 13개의 지역별로 부하율을 이용하여 산출하였다. 또한 분산손실계수 값은 실제 선로 및 부하데이터를 이용하여 부하분포형태를 5가지 형태(Case0~4)로 구분하여 도출하였다. 마지막으로 2016년도 우리나라 배전손실량과 비교하여 제안한 손실산출 기법의 효용성을 검증하였다.

2. 고압선로 손실의 개념

2.1 배전손실 정의

배전손실은 배전용변전소에서 고압배전선로, 주상변압기, 저압배전선로, 인입선, 계량기 등을 거쳐 수용가까지 전력이 공급되는 동안 설비 자체에서의 고유한 전기적 특성에 의하여 필연적으로 소모되는 전력을 의미한다[4]. 배전 손실량은 배전 시작점에서 수용가에 전력이 수송되는 과정에서 발생하는 전력손실을 전력량(kWh)으로 나타낸 것으로, 주어진 기간 동안 변전소에서 배전선로로 공급되는 전력량과 수용가에서 사용되는 전력량의 차이로 측정할 수 있다. 배전손실은 수용가로 전달되어야 하는 에너지의 일부가 유출되는 것으로 볼 수 있기 때문에 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다[4].

$$E_{losses} = E_{input} - E_{sales} \quad (1)$$

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Korea National University

E-mail : moon@ut.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Korea National University

접수일자 : 2017년 11월 14일

최종완료 : 2017년 11월 21일

여기서 E_{losses} 는 배전선로에서의 손실전력량을 나타내고, E_{input} 은 배전용 변전소에서 공급되는 전력량, E_{sales} 은 수용가에서 사용한 전력량을 의미한다.

2.2 고압선로 손실 정의

배전계통 설비 중 고압선로를 통해 수송되는 과정에서 발생하는 손실을 전력량(kWh)으로 나타낸 것을 의미하며 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다[5].

$$P = I^2 \times R \times H \times h \times T \tag{2}$$

여기서 P 는 고압선로 손실량을 나타낸다. I 는 최대전류를 의미하며, 최대전류는 제품의 값을 사용하기 때문에 조금의 차이에도 큰 오차가 발생하게 된다. R 은 선로저항을 의미하며, 고압선로 손실계산시 각 선종에 따른 저항의 값을 사용하였다. H 는 손실계수를 의미한다. 손실계수는 고압선로 손실계산시 최대전류 값을 사용하는데, 하루 부하패턴은 최대값과 최저값이 있으므로 최대값을 평균값으로 보정해 주기 위해 사용하는 요소이다. h 는 분산손실계수를 의미한다. 고압선로 손실계산시 부하의 분포하는 위치에 따라서 같은 최대전류 값이어도 발생하는 손실량은 다르게 된다. 예를 들어 부하가 송전단에 많이 분포되어 있으면 앞단(시작점)에서 전류가 많이 흐르고 뒤로 갈수록 전류가 적게 흐르기 때문에 뒤쪽은 적은 전류가 흐름으로 발생하는 고압선로 손실은 시작점 최대전류 값에 비해 적게 발생하게 된다. 반대로 부하가 말단에 많이 분포되어 있으면 최대전류가 마지막까지 흐르기 때문에 송전단 집중 분포에 비해 고압선로 손실량은 크게 발생하게 된다. 이러한 값을 보정해 주기 위해 사용하는 요소이다. T 는 시간을 의미하며 연간 고압선로 손실량 산출은 24×365 의 값을 사용하였다.

3. 고압선로 손실요소 산출

3.1 최대전류 산출

고압선로 손실을 산출하기 위해 최대전류 값은 가장 중요한 요소이다. 최대전류 제품의 값을 사용하기 때문에 최대한 많은 요소들을 고려해주어야 높은 신뢰성을 가질 수 있다. 그림 1은 최대부하 산출 순서도를 나타낸다. 우선 한국 전력공사 NDIS 시스템 및 전력통계시스템에서 관리하고 있는 최대부하 데이터를 이용하였다.

이 최대부하 값을 지역별, 월별로 나누어 최대전류를 산출하여 보다 정확한 고압선로 손실을 계산할 수 있도록 하였다. 즉, 최대부하 값을 13개의 지역으로 나누어 각 지역마다 최대부하 평균값을 구하였다. 다음 표 1은 지역별 최대부하 예시이다.

표 1을 보면 기존 고압선로 손실 산출시에는 피크 값인 8.57[MW]를 사용하였지만 본 논문에서는 각 지역별 피크 값을 사용하여 고압선로 손실 산출을 하였다. 각 지역별로 최대부하를 분류한 후 각 지역의 최대부하를 12개월로 나누어서 각 월별 최대부하를 산출하였다. 다음 표 2는 월별 최대부하 값이다.

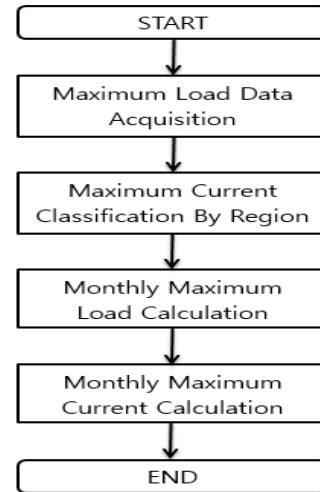


그림 1 최대전류 산출 순서도
Fig. 1 Maximum current calculation flow chart

표 1 지역별 최대부하
Table 1 Peak load in each region

Region	Maximum Load (MW)	Region	Maximum Load (MW)
A	7.94	H	7.97
B	8.01	I	6.53
C	7.93	J	7.63
D	7.38	K	7.92
E	7.68	L	8
F	7.72	M	7.62
G	8.57	Peak load	8.57

표 2 월별 최대부하
Table 2 Monthly peak load

Month	Maximum Load (MW)	Month	Maximum Load (MW)
1	7.78	7	7.67
2	7.88	8	7.70
3	7.53	9	7.31
4	6.66	10	6.53
5	6.71	11	7.40
6	6.99	12	7.72

기존의 고압선로 손실 계산시 표 2의 2월의 최대전력 값을 사용한 것에 비해 본 논문에서는 각 월별 최대전력 값을 사용하여 고압선로 손실을 산출하였다. 최대전류 산출은 식 (3)을 이용하였다.

$$I = \frac{\text{최대부하}}{\sqrt{3} \times \text{공급전압} \times \text{역률}} \tag{3}$$

여기서, 공급전압은 22.9kV를 사용하였고, 역률은 95%를 사용하였다.

3.2 손실계수 산출

식 (4)는 손실계수를 나타낸다[5-7].

$$H = kF + (1 - k)F^2 \quad (4)$$

여기서, F 는 부하율을 의미하며 한국전력공사에서 관리하고 있는 값을 사용하였다. k 값은 통상적인 0.32값을 사용하였다. 그림 2는 손실계수 산출 순서도를 나타낸다.

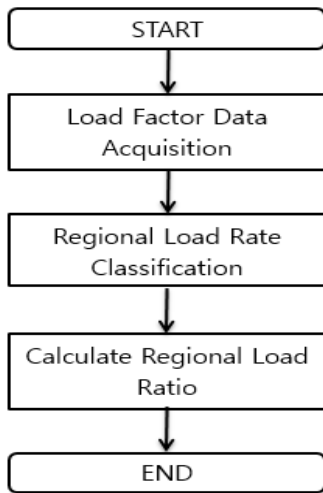


그림 2 손실계수 산출 순서도
Fig. 2 Loss factor calculation flowchart

본 논문에서는 손실계수 산출을 위해 부하율 값을 13개의 지역으로 나누어 각 지역마다 손실계수를 산출하였다. 지역별 최대전류와 지역별 손실계수를 산출하였기 때문에 고압선로 손실계산시 각 지역별로 손실계산을 하였다. 다음 표 3은 지역별 손실계수 예시이다.

표 3 지역별 손실계수
Table 3 Loss factor by region

Region	Loss factor	Region	Loss factor
A	0.5235	H	0.4885
B	0.4889	I	0.4345
C	0.4811	J	0.4367
D	0.4540	K	0.4614
E	0.4927	L	0.4743
F	0.4550	M	0.4253
G	0.4819	Average LF	0.4691

3.3 합성저항 산출

고압선로 선종에 따라 각각 다른 저항 값을 갖는다. 본 논문에서는 우리나라 각 선종별 비율을 적용하여 합성저항을 구하였다. 다음 표 4는 선종별 비율 및 비율적용시 저항값이다[8].

표 4 선종별 비율 및 비율적용시 저항

Table 4 Resistance when applying ratio and ratio of wire type

Wire type	Ratio[%]	Ratio of Wire type[Ω]
32mm ²	2.80	2.51922E-05
58mm ²	38.95	1.93586E-04
95mm ²	13.34	4.01546E-05
160mm ²	31.15	5.66902E-05
240mm ²	0.88	1.05003E-06
325mm ²	12.46	7.07872E-06
600mm ²	0.42	1.29470E-07

표 4를 이용하여 우리나라 고압선로 평균합성저항 0.000534[Ω/m]값을 산출하였다.

4. 사례연구 산출

4.1 월별 고압선로 손실량 산출

고압선로 손실량 산출은 식 (1)을 이용하였다. 여기서 3.1절의 지역별 최대전류, 3.3절의 합성저항, 3.2절의 지역별 손실계수를 이용하였다. 분산손실계수는 각 지역별로 대표성을 띄는 지역을 선별하여 Case0~4 단계로 나누어 사용하였다. Case0은 직거래 고객, Case1은 균등분포부하 지역, Case2는 말단집중부하 지역, Case3은 송전집중부하 지역, Case4는 중간집중부하 지역으로 나누었다. 분산손실계수 값은 Case0은 1, Case1은 0.33, Case2는 0.53, Case3은 0.2, Case4는 0.38을 사용하였다. 24×365의 값을 사용하여 연간 고압선로 손실량을 산출하였다. 다음 표 5는 산출한 월별 고압선로 손실량 값이다.

표 5 월별 고압선로 손실량
Table 5 Monthly high-voltage line loss

Month	Loss (MWh)	Month	Loss (MWh)
1	597,064	7	581,672
2	612,658	8	597,064
3	566,481	9	522,115
4	438,815	10	425,636
5	452,195	11	536,702
6	479,559	12	597,064

1월부터 12월까지의 합으로 연간 고압선로 손실량은 6,407,027MWh값이 산출 되었다.

4.2 변압기 손실량 산출

배전용 변압기 손실량은 철손량과 동손량의 합으로 산출할 수 있다. 철손은 시간적으로 변화하는 자화력에 의해서 발생하는 철심의 전력 손실로, 변압기 용량별 변압기 대수와 용량별 변압기 철손의 곱으로 산출할 수 있다. 동손은 용

량별 변압기 대수와 용량별 변압기 철손, 변압기이용률의 제곱, 손실계수, 시간의 곱으로 산출 할 수 있다. 변압기는 10~1000kVA의 다양한 용량이 존재한다. 다음 표 6은 변압기 용량별 비율 값이다.

표 6 변압기 용량별 비율
Table 6 Transformer Capacity Percentage

Volume	Ratio[%]
10kVA	2.9
20kVA	12
30kVA	14.5
50kVA	27.3
75kVA	28.1
100kVA	10.7
200kVA	1.6
300kVA	2.9
500kVA	0
1000kVA	0

표 6에서의 다양한 용량의 변압기 전체를 고려 할 수 없기 때문에 비율이 높은 30~100kVA의 변압기 용량을 이용하여 변압기 손실 산출에 사용하였다. 각 변압기 용량에 따른 철손과 100% 부하시 동손은 제시되어 있다. 여기에 우리나라 변압기 평균 이용률인 57.88%를 적용하였다. 손실계수는 일반적으로 사용되는 전등용 0.23 및 동력용 0.19를 사용하였다. 변압기 대수는 200만대로 가정하였으며 최종적으로 변압기 손실량은 2,225,998MWh로 산출 되었다.

4.3 저압선로 손실량 산출

저압선로 손실량 산출 식은 앞선 고압선로 산출식 (2)와 동일하다. 식 (2)에서 I^2 은 최대전류를 의미하며 58.43[A]를 사용하였다.

표 7 선종별 비율 및 비율적용시 저항

Table 7 Resistance when applying ratio and ratio of wire type

Wire type	Ratio[%]
22mm ²	40.4
32mm ²	15.5
38mm ²	24.2
58mm ²	0.5
60mm ²	17
80mm ²	0
100mm ²	2.3
150mm ²	0
200mm ²	0
325mm ²	0

표 7을 이용하여 우리나라 저압선로 평균합성저항 0.000534 [Ω/m]값을 산출하였다. 저항은 22mm², 32mm², 38mm² 선로의 평균으로 사용하였다. 선로 연장은 우리나라 저압선로 연장인 548,475km를 사용하였다. 손실계수는 저압선로는 변압기 이후에 위치하기 때문에 변압기 손실계산시 사용한 값과 동일하게 사용하였다. 분산손실계수는 저압선로 특성상 평등분포와 송전단 집중분포를 50:50으로 가정하였다. 최종적으로 저압선로 손실량은 2,464,767MWh가 산출되었다.

4.4 배전계통 손실량 산출

배전계통 손실량산출시 배전설비의 종류는 광범위하기 때문에 모든 배전설비를 고려하는 것은 불가능하다. 따라서 배전설비 중 손실이 많이 발생하는 설비인 고압선로, 변압기, 저압선로로 한정하였다. 본 논문에서 기타손실 값을 제외한 배전계통 손실량은 11,097,792[MWh]값이 산출 되었다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 배전계통 손실 산출 방식이 아닌 배전계통의 설비에서 발생하는 손실량을 산출한 후 합산하여 배전계통 손실량을 산출하였다. 그 중 고압선로에서 발생하는 손실산출 기법을 제시하였다. 고압선로 손실량을 산출하기 위해 최대부하 값을 13개의 지역으로 나누어 사용하였고, 연간 최대부하 값을 월별 최대부하 값으로 세분화 시켜 13개의 지역에 각각 적용시켰다. 최대부하 값을 사용하여 최대전류 값을 산출하여 정확성을 높였다. 지역별 최대부하 값이 다르기 때문에 지역별 특성에 따른 부하율을 고려하여 손실계수 값을 산출하여 사용하였다. 각 지역별로 나누어 손실계산을 하기 위하여 합성저항 값을 산출한 후 각 지역의 연장 비율을 사용하여 각 지역별 저항값을 산출하였다. 최종적으로 고압선로 손실량 6,407,027MWh가 산출되었다. 또한 변압기 손실량은 2,225,998MWh가 산출되었으며, 저압선로 손실량은 2,464,767MWh가 산출되었다. 고압선로, 변압기, 저압선로 손실량의 합으로 기타손실 값을 제외한 배전계통 손실량은 11,097,792MWh가 산출되었다. 2016년도 배전계통에서 발생한 실제 전력손실량은 10,251,464MWh이다. 본 논문에서 산출한 배전계통 손실량에는 약 8.25[%]의 오차율이 발생하게 된다. 배전설비 손실중 고압선로가 차지하는 손실의 비율이 크지만 변압기 및 저압선로에서 발생하는 손실도 많은 부분을 차지하기 때문에 이에 대한 정확한 손실 산출을 위한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

References

[1] NSW, "Distribution Loss Factors - Frequently Asked Questions," 2015.
 [2] Mesut E. Baran, "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 4, no. 2, pp. 1401-1407, April 1989.
 [3] HYDRO ONE NETWORKS, INC, "DISTRIBUTION LINE LOSS STUDY," 2014.

- [4] M. Y. Kim, D. S. Rho, "A Basic Study on the Optimal Method of Loss Management in the Distribution System," *The Transaction of The Korean Institute of Electrical Engineers*, 144-146, Nov. 2003.
- [5] M. Y. Kim, D. S. Rho, "A Study on the Optimal Method of Loss Calculation in Distribution System," *The Transaction of The Korean Institute of Electrical Engineers A*, vol. 53A, no. 6, 340-349, Jun. 2005.
- [6] AURORA ENERGY, "DISTRIBUTION LOSS FACTOR CALCULATION METHODOLOGY," 2004.
- [7] Energex, "Distribution Loss Factor Methodology," 2007.
- [8] Distribution Planning Department, "Distribution Protection Statement," 2008.

저 자 소 개



황 인 성(黃仁盛)

2016년 한국교통대 전기공학과 졸업.
2016년~현재 동 대학원 전기공학과 석사 과정.
E-mail : his274@ut.ac.kr



홍 순 일(弘淳日)

2016년 한국교통대 전기공학과 졸업.
2016년~현재 동 대학원 전기공학과 석사 과정.
E-mail : soonil1999@ut.ac.kr



문 종 필(文鍾必)

2000년 숭실대 전기공학과 졸업. 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사).
2009년~현재 한국교통대학교 전기공학과 부교수
E-mail : moon@ut.ac.kr